تكنولوجيا المواد وصيانة المباني الأثرية

تأليف : جورجيو توراكا
ترجمة: د. أحمد إبراهيم عطية

دار الفجر للنشر والتوزيع

تكنولوجيا المواد

وصيانة المباني الأثرية

تكنولوجيا المواد
وصيانة المباني الأثرية

تـــأليـــــف

جورجيـــــــــو توراكـــا

ترجمــــــــــة

دكتـــــور / أحمد إبراهيم عطية

مدرس ترميم الآثار - كلية الآداب بسوهاج

دار الفجر للنشر و التوزيع

2003

الطبعــة الأولى 2003 م

رقم الإيداع
16032
الترقيم الدولي .I.S.B.N
977-358-011-3

Porous Building Materials
Materials Science of Architectural Conservation
By Giorgio Torraco

دار الفجــر للنشــر و التــوزيــع
4 شارع هاشم الأشقر- النزهة الجديدة - القاهرة
ت : 2944119 (00202) ف : 2944094 (00202)

لا يجوز نشر أي جزء من الكتاب أو اختزان مادته بطريقة الاسترجاع أو نقله على أي نحو أو بأي طريقة سواء كانت إلكترونية أو ميكانيكية أو بخلاف ذلك إلا بموافقة الناشر على هذا كتابة و مقدما .

حقوق الطبع و الاقتباس و الترجمة
و النشر محفوظة للناشر

بسم الله الرحمن الرحيم

(فأما الزبد فيذهب جفاء وأمـــا ما ينفع الناس فيمكث فى الأرض)

" صدق الله العظيم "

الإهداء

لأخي محمد ..

وابني محمد..

المحتويـــات

	الصفحة
– تقديـم	19
– مقدمـة	21
– الفصل الأول : حركة المياه فى الجوامد المنفذة	**25**
١-١- الأسطح القطبية .	27
١-٢- انتشار الماء فى مسام المواد القطبية .	37
١-٣- حركة المياه فى الحالة السائلة	46
١-٤- حركة المياه فى الحالة الغازية	48
١-٥- الارتفاع الشعرى فى المبانى المسامية	54
١-٦- الأسطح غير القطبية	55
– الفصل الثانى : تلف المواد المسامية – الضغوط	**59**
٢-١- سلوك المواد الهشة تحت إجهادات الضغط والشد	61
٢-٢- الضغط الخارجى .	69
٢-٣- الضغط الداخلى	80
الفصل الثالث : العمليات الكيميائية – التآكل	**91**
٣-١- مياه الأمطار	93
٣-٢- تلوث الجو	95
٣-٣ عمليات البلل والجفاف	98
٣-٤- المناخ وتلوث الهواء	102

- الفصل الرابع : التلف البيولوجي للمواد المسامية	**107**
٤-٢- البكتريا والفطريات	109
٤-٢- الطحالب	110
٤-٣- الحزازات	111
٤-٤- طحالب المستنقعات	112
٤-٥- النباتات العليا	112
الفصل الخامس : الاهتزاز	**113**
٥-١- مقدمـة	115
٥-٢- قياسات وتعريفات	117
٥-٣- السعة	119
٥-٤- قمة السرعة	120
٥-٥- العجله	124
٥-٦- الشدة والطاقة والضغط	125
٥-٧- الاهتزاز المرورى وأثره على المبانى	126
٥-٨- صدى الصوت	130
الفصل السادس : الروابـــط	**139**
٦-١- الجبس	141
٦-٢- الجيـر	144
٦-٣- المون الهيدروليكيه	150
٦-٤- الاسمنت البوتلاندى	155
٦-٥- الخرسانه الحديثة	160
٦-٦- عيوب الاسمنت البورتلاندى	162
٦-٧- مون الجير والاسمنت	165

٦-٨- تلف الخرسانه 166
الفصل السابع : صيانة الأحجار 169
٧-١- التشخيص 171
٧-٢- التنظيف 172
٧-٣- التقويـة 178
٧-٤- الحمايـه 188
الفصل الثامن : الطفله والطوب اللبن والطوب المحروق 195
٨-١- معادن الطفله 197
٨-٢- التربـه 202
٨-٣- التربة كمادة بناء 203
٨-٤- تجويه منشآت الطين 205
٨-٥- حماية مبانى الطوب اللبن 207
٨-٦- الطوب المحروق والفخار والخزف 211
الفصل التاسع : تحلل المبانى وصيانتها 215
٩-١- الرطوبةفىالمبانى 217
٩-٢- الإملاح الذائبة فى المبانى 219
٩-٣- البياض طبقة حماية قربانيه 221
٩-٤- الجفاف فى المبانى
٩-٥- تطبيقات غير ملائمة فى صيانة المبانى 230
٩-٦- العلاج غير القطبى للجوامد القطبية 233
الفصل العاشر : اللدائن الصناعية 237
١٠-١- راتنجات ثرموبلاستيك 239
١٠-٢- راتنجات ثرموسيتنج 247

١٠-٣- تجوية اللدائن الصناعية 250

الفصل الحادى عشر : السيليكات والسيليكونات 253

١١-١- السيليكا والسيليكات 255

١١-٢- السيليكونات 259

١١-٣- السيليكونات الطاردة للماء 260

الأشـــــكال

رقم	البيـــــــــــان	الصفحة
١	الروابط بين ذرات غاز ثانى اكسيد الكربون .	28
٢	الروابط بين ذرات جزيىء الماء.	29
٣	السطح القطبى وكيفية جذبه لجزيئات الماء.	31
٤	اسلوب تكون الرابطة الهيدروجينية .	32
٥	حركة الأيونات الموجبة فى المجال الكهربى	36
٦	قوى التجاذب بين جزيئات الماء.	37
٧	قوى التجاذب بين الجامد والسائل القطبى .	38
٨	شكل المياه داخل الجوامد المنفذة .	39
٩	الخاصة الشعرية .	41
١٠	مستويات انتشار الماء فى الجوامد المنفذة القطبية	44
١١	تميؤ الأملاح .	45
١٢	الروابط غير القطبية .	56
١٣	مظهر قطرة الماء على سطح الجوامد غير القطبية	57
١٤	مظهر الماء فى مسام المواد غير القطبية.	58
١٥	رسم بيانى يوضح قوى الضغط والشد فى المواد الهة	62
١٦	مناطق تركيز الضغط فى العينات المختبرة.	66
١٧	معامل تعاظم ضغوط الشد ومعادلة معامل التعاظم.	67
١٨	الضغوط التى تتعرض لها الأعمدة والاعتاب	70
١٩	ضغوط التمدد الحرارى فى مواد البناء.	71
٢٠	التمدد والانكماش فى مواد البناء.	72

٢١	التشوهات التى تحدث فى طبقات الكسوة الخارجية بسبب التمدد الحرارى .	74
٢٢	تمدد وإنكماش بلورة الرخام بسبب التغير فى معدلات الحرارة .	75
٢٣	حالات نمو البلورات داخل مسام المواد المنفذة .	82
٢٤	الضغوط الناتجة عن تبلور الأملاح داخل مسام المواد المنفذة .	84
٢٥	التآكل النقرى بفعل الرياح .	86
٢٦	تزهر الأملاح على أسطح المواد المسامية	88
٢٧	الطرق المختلفة لمهاجمة ثانى اكسيد الكبريت لمواد البناء الجيرية .	97
٢٨	تأثير دورات البلل والجفاف وأيضا التجوية على أسطح مواد البناء.	100
٢٩	فعل الرياح السريعة على الملوثات الناتجة عن المصانع .	103
٣٠	ظاهرة الانقلاب الحرارى .	103
٣١	الانقلاب الحرارى فى الوديان فى فصل الشتاء.	104
٣٢	مدينة فينيسيا فى ليلة شتاء صافية.	105
٣٣	حركةالاهتزاز .	117
٣٤	تضاؤل موجة الاهتزاز كلما بعدت عن المصدر .	119
٣٥	شك الجبس الباريسى .	142
٣٦	أفران صناعة الجير .	146
٣٧	حفرة طفى الجير .	147

٣٨	خطوات صناعة الأسمنت البورتلاندى.	156
٣٩	عملية شك الأسمنت البورتلاندى .	159
٤٠	الفرق بين الخرسانة العادية والخرسانة سابقة الاجهاد.	161
٤١	طريقة النسف بالحصى المستخدمة فى تنظيف الأحجار .	174
٤٢	طريقة رذاذ الماء المستخدمة فى تنظيف الأحجار	175
٤٣	طريقة التشبيع المستخدمة فى تقوية الأحجار.	180
٤٤	مقاومة المقويات غير العضوية للقدم والصدمات الميكانيكية .	183
٤٥	مقاومة المقويات العضوية للصدمات الميكانيكية وعدم مقاومتها للقدم .	184
٤٦	اسلوب معالجة الشروخ والفجوات داخل الأحجار.	188
٤٧	شكل بلورة الطفلة .	197
٤٨	تركيب رقائق بعض أنواع الطفلة .	198
٤٩	أيون الحديد الموجود فى الطفلة .	198
٥٠	انتفاش الطفلة وإنكماشها .	199
٥١	رقيقة كاولينيت	200
٥٢	إنزلاق بلورات الطفلة عند البلل.	201
٥٣	تفكك بلورات الطفلة عند زيادة البلل .	201
٥٤	شكل الطفلة وهى جافة وبعد بللها .	203
٥٥	تجوية مبانى الطوب اللبن .	205
٥٦	الارتفاع الشعرى فى مبانى الطوب اللبن .	206

٥٧ الأسقف لحماية المبانى الطينية . 207

٥٨ معالجة حائط مبنى بالطوب اللبن . 209

٥٩ روابط السيليكا بين رقائق الطين . 210

٦٠ ناتج حرق الطفلة المخلوطة بالرمل . 212

٦١ ناتج تفاعل الطفلة مع الصوديوم . 212

٦٢ عجينة الخزف . 214

٦٣ خواص طبقة البياض المسامية وغير المسامية 224

٦٤ السيفونات الهوائية . 227

٦٥ مظهر سلاسل البوليمر . 240

٦٦ قوى الاتصال بين الجزيئات . 241

٦٧ ضعف راتنجات ثرموبلاستيك كمادة بناء. 242

٦٨ زيادة قوى التجاذب بين الجزيئات . 242

٦٩ ذوبان راتنجات ثرموبلاستيك . 243

٧٠ اعتام مستحلبات راتنجات ثرموبلاستيك وتفريقها للضوء. 245

٧١ مستحلب صابونى لايذوب فى الماء. 245

٧٢ استخدام راتنجات ثرموبلاستيك فى الصيانة . 246

٧٣ مراحل تصنيع راتنجات ثرموسيتنج. 247

٧٤ مقاومة راتنجات ثرموسيتنج للأحمال. 249

٧٥ أكسدة البوليمرات . 252

٧٦ استخدام هيدروكسيد السيليكون فىالتقوية . 256

الجــــــداول

رقم	البيـــــــــــان	الصفحة
١	مقدار التمدد الحرارى لبعض مواد البناء.	76
٢	معامل التمدد الحرارى لبعض مواد البناء.	77
٣	المواصفه القياسية رقم ٤١٥٠	122
٤	أضرار الاهتزاز على المبانى .	123
٥	طاقة الاهتزاز والتلف الناتج عنها .	136
٦	الرموز المستخدمة فى كمياء الأسمنت	158

تقديـــــــم

لاشك أن الكتب المؤلفة باللغة العربية ، فى مجال صيانة وترميم الآثار . لازالت قليلة العدد . ضعيفة المستوى ، وغالبا ماتعتمد فى الأصل علىالترجمة والنقل من المصادر الأجنبية ، لا على الإنتاج العلمى والتأليف.

لذلك رأى المترجم أن ينقل إلى اللغة العربية ، واحد من أفضل المراجع الأجنبية التى صدرت فى النصف الأخير من القرن العشرين، والذى قام بتأليفه وأحد من أشهر أساتذة علم المواد فى كلية الهندسة جامعة روما .

هذا الكتاب عنوانه الأصلى :

" Porous Building Materials. Materials Science For Architectural Conservation “.

ومطبوع بمعرفة الايكروم ICCROM.

وقد اعتمد اختيارى لهذا الكتاب لترجمته إلى اللغة العربية على عدة أسباب :

١- ان المكتبة العربية ليس بها كتاب يرقى لمستوى هذا الكتاب فى مجال صيانة وترميم الآثار .. وتكنولوجيا المواد .

٢- أن محتوى الكتاب يدخل ضمن التخصص الدقيق للمترجم .

٣- غزارة المحتوى العلمى للكتاب على الرغم من قلة عدد صفحاته .

٤- محاولة المؤلف تبسيط العلوم المختلفة لخدمة مجال صيانة وترميم الآثار .

٥- اعتماد المؤلف على الأشكال التوضيحية التى تكاد تنطق بأفكار المؤلف دون كتابتها .

٦- أن معظم الباحثين المصريين إستفادوا من محتوياته؛ ونقلوا معظم أشكاله التوضيحية .

وقد إختار المترجم العنوان الآتى:

"تكنولوجيا المواد وصيانة المبانى الأثرية "

هذاالعنوان اختاره المترجم من بنات أفكار المؤلف نفسه، الذكر ذكر فى مقدمة الكتاب .. أنه عبارة عن سلسلة من المحاضرات فى تكنولوجيا المواد ، تدخل ضمن مجموعة من المحاضرات العامة عن صيانة المبانى .

وقد التزم المترجم - بقدر الإمكان - بنص الكتاب ، وحاول الكشف عن غموض بعض الجمل والعبارات ، بتفسيرها تفسيرا علميا ، مع وضع إضافات المترجم للنص الأصلى بين قوسين .

والمترجم إذ يشكر السيد الأستاذ عبدالحى أحمد فؤاد صاحب دار الفجر للنشر والتوزيع لتعاونه فى نشر هذا الكتاب وغيره من كتب المؤلف . يأمل أن يكون قد نقل إلى اللغة العربية كتابا يثرى حقل الصيانة والترميم ، ويخدم العاملين فيه ، والباحثين ... من أجل الحفاظ على التراث الإنسانى ، وحضارات الشعوب ..

مع رجاء خاص من كل قارئ إبداء الرأى وإسداء النصيحة ، من أجل إثراء الفكر .. ونشر الثقافة ..

وعلى الله قصد السبيل .. والحمد لله رب العالمين ..

دكتور/ أحمد ابراهيم عطيه

مقدمـــة المؤلـــف

تقاسي مواد البناء كالطوب والمؤن والحجـر المسـامى .. مـن عوامـل التلف المختلفة، عندمـا تتعـرض لهـا مـن خـلال وجودهـا فـى البيئـة المحيطـة بالمبانى الأثرية ، حيث أن هذه العوامل ذات تأثيرات متباينة على هـذه المـواد . وهذا يعتمد على خـواص المـواد نفسـها ، وعلـى تـأثير العديـد مـن العوامـل الجوية التى تعمل منفصلة أو مشتركة مع بعضها ، وتؤثر جزئيا أو كليا على هذه المواد.

وبناء على ذلك فـإن معـدلات تـأثير هـذه العوامـل علـى مـواد البنـاء، ومظاهرها .. تختلف عن بعضها ، وليس من السهل تعريفها.

واذا كانت المعلومات المتفرقة والمتاحة من مختلف العلوم والتقنيات، يمكن تجميعها فى إطار عام لتصبح نموذجا يحتذى أو قاعدة عامـة – نظريـة – ذات فائدة تسمح بتفسير عمليات التحلل ، فـإن هـذه النمـاذج أو النظريـات التـى يمكـن تصورهـا أو الكشـف عنهـا يمكـن اختبارهـا وتعريفهـا مـن خـلال التطبيقات العملية .

والكتاب الذى بين أيدينـا نقدم فيـه أفكـار مناسبة مـن مختلـف العلـوم والمجالات، نعرضها بطريقة مبسـطة وواضحـه لنعـالج بعمـق كـل موضـوع على حده .. مع تجنب المعادلات الكيميائية والرياضية بقدر الإمكان .

وقد تم ذلك بهدفين :

الهدف الأول: أن يكون مانعا للمتخصصين فى العلـوم المختلفـة مـن توجيه النقد .. أو حافزا لتقديم مزيدا من المعلومات الدقيقـة التـى تخـدم مجـال صيانة الآثار.

الهدف الثانى : السماح للمتخصصين فى مجال صيانة الآثار .. للتعرف على المضامين العملية للنظريات العلمية ومحاولات تطبيقها فى عمليات صيانة الآثار .

إن الغرض الأساسى من وضع هذا الكتاب .. هو تقديم قواعد أساسية أو مدخل لسلسلة من المحاضرات فى تكنولوجيا مواد البناء، تدخل ضمن مجموعة عامة من المحاضرات فى صيانة المبانى ، كتلك المجموعة التى وضعت بمعرفة .. الإيكروم ICCROM وكلية العمارة فى روما.

النموذج الموضح فى هذا الكتاب ، وهو نموذج المواد المسامية ، يكون التحلل نتيجة لعمليات كيميائية – تآكل – تعمل بالتزامن أو متحدة مع الضغوط الميكانيكية .

وفى اعتقادى أن الضغوط وحدها لاتؤثر على المواد المسامية من خلال البيئة الخارجية فقط – أو مانسميها : الضغوط الخارجية ، بل إن الضغوط النامية داخل هذه المواد فى مواقع خاصة ، والتى نسميها: ضغوط داخلية .. تؤثر عليها أيضا .

وبناء على ذلك فإن كل عمليات تحلل لمواد البناء المسامية يمكن تعريفها من خلال نموذج خاص ومميز .. هو نموذج التآكل الضغطى Stress-Corrosion الذى يشترك فيه كل من الضغوط الخارجية والضغوط الداخلية مع العمليات الكيميائية فى إتلاف المواد المسامية ..

هذا إلى جانب حقيقة علمية معروفه ، وهى .. أن التلف الكيميائى يحدث فقط فى وجود الماء، كما أن الماء أيضا عامل أساسى فى توليد الإجهادات الداخلية .

لذلك قسمت هذا الكتاب إلى الفصول التالية :

الفصل الأول : يبدأ بمناقشة عمليات التحلل مع وصف حركة المياه داخل الأجسام الصلبة المنفذة .

الفصل الثانى : دراسة الضغوط الميكانيكية الداخلية والخارجية .

الفصل الثالث : دراسة عمليات التآكل الكيميائى .

الفصل الرابع : وصف عوامل التلف البيولوجى .

الفصل الخامس : مناقشة الاهتزازات الميكانيكية كعامل إضافى فى تلف المبانى الأثرية .

الفصل السادس : دراسة المشاكل المحتملة لبعض مواد البناء .

الفصل السابع : دراسة للمون المستخدمة فى البناء .

الفصل الثامن : دراسة أحجار البناء .

الفصل التاسع : دراسة ترميم المبانى بصفة عامة .

الفصل العاشر : مناقشة بعض المواد المستخدمة فى صيانة الآثار .

الفصل الحادى عشر: دراسة السيليكيات والسيليكونات كمواد تستخدم فى مجال صيانة الآثار .

الفصل الأول

حركة المياه فى الجوامد المنفذة

Water movement in Porous Solids

١-١- الأسطح القطبية Hydrophilic surfaces:

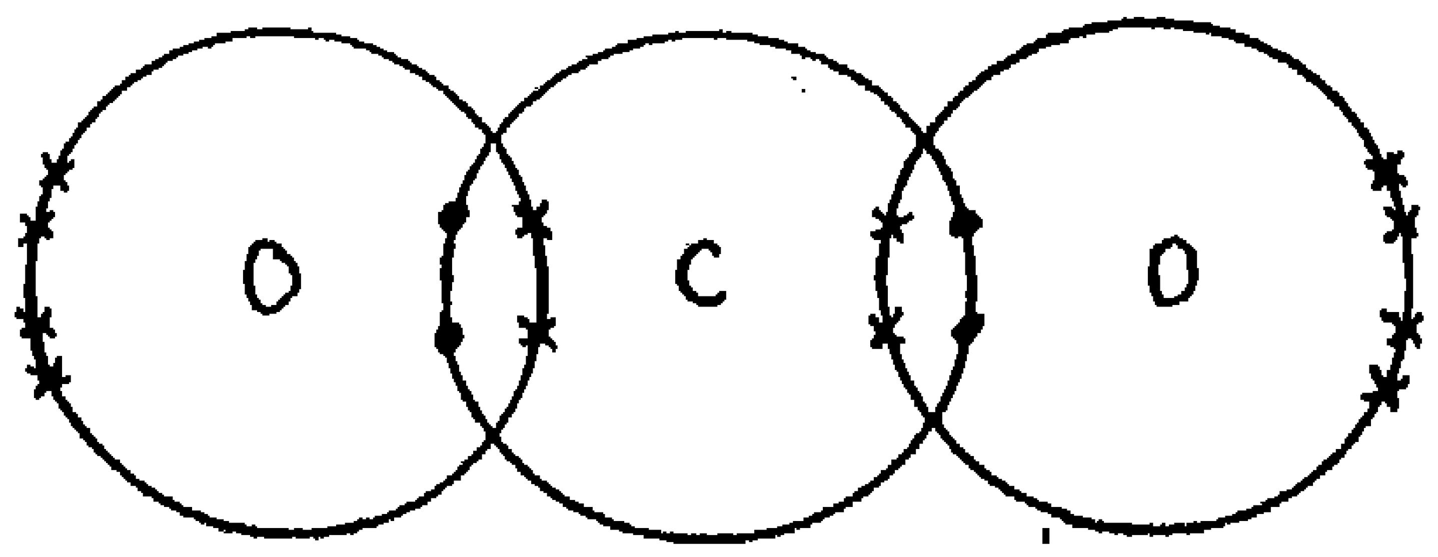
يحتوى الطوب والحجر والمؤن على بللورات Crystals مجموعات الكربونات Carbonates والسيليكات Silicates والألومينات Aluminates أو آكاسيد هذه المجموعات .

كما أن المواد الزجاجيه Vitreous والمواد غير البللورية Non-Crystalline تحتوى أيضا على سيليكات .

أسطح هذه البللورات أو المواد الزجاجية تكون غنية بذرات الأكسجين التى تحمل شحنات كهربية سالبة Negative electrical charges ولهذا السبب فإن الأكسجين يظل عنصرا جاذبا للإلكترونات Electron attracting لذلك عندما يكون الأكسجين روابط مع ذرات أخرى مثل : الكربون أو السيليكون أو الألومنيوم ... الخ .. فإنه يكتسب الكترونين من ذرات هذه العناصر أو يشترك معها ليكون جزيئات مستقرة كيميائيا .

ويدعى زوج الالكترونات المشترك بين ذرتين عادة باسم : الرابطة Bond.

" ويوضح الشكل رقم (١) الروابط بين ذرات غاز ثانى اكسيد الكربون ، حيث يوجد زوجان من الالكترونات مشاركان بين كل ذرة اكسجين وذرة الكربون المركزية فى ثانى اكسيد الكربون مكونة ثمانى الكترونات حول كل ذرة من الذرات الثلاث الموجودة فى المركب ، ويقال أن ثانى اكسيد الكربون به رابطتين مزدوجتين Double bond.



شكل رقم (١) يوضح

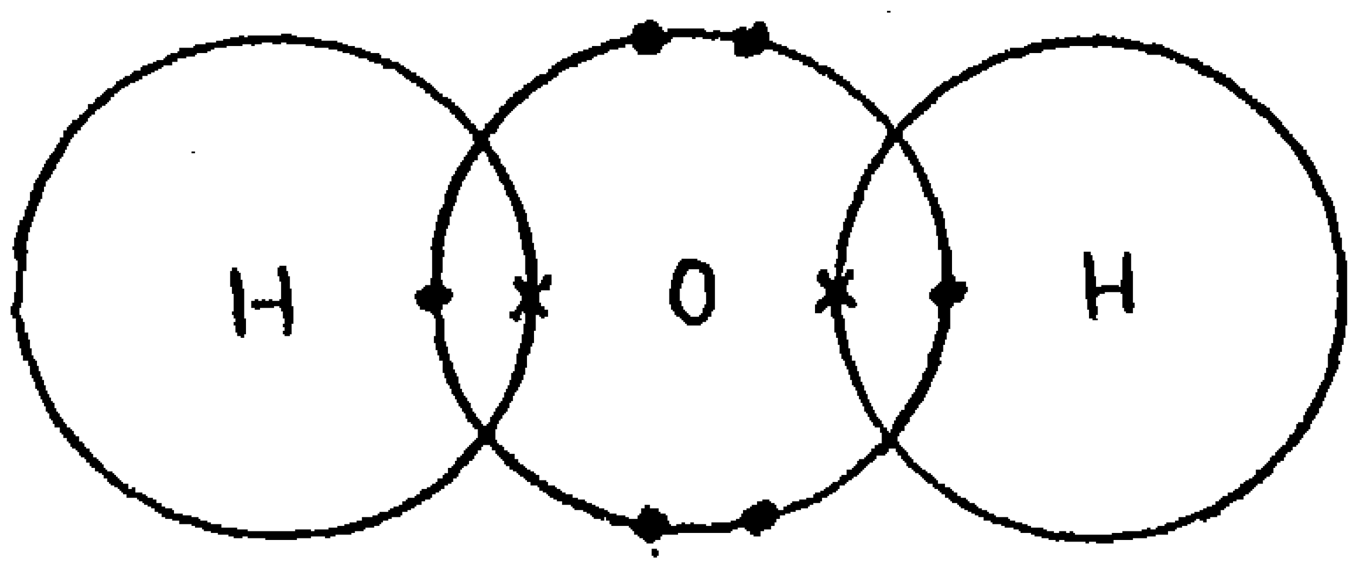
الروابط بين ذرات غاز ثانى اكسيد الكربون

ويلاحظ أن السطح الذى يحتوى على الأكسجين ، يكون الأكسجين فى الغالب مقيدا أو مرتبطا من أحد جوانبه بذرة هيدروجين ، ليكون مجموعة هيدروكسيل ..Hydroxyl group - O - H

هذه المجموعة تحمل شحنة كهربية سالبة على الأكسجين O^- وأخرى موجبة على الهيدروجين H^+ ، وذلك لأن ذرة الأكسجين تحتوى على عدد أعلى من الالكترونات السالبة فى مدارها الخارجى ، لذلك فإنها تجذب عدد أكبر من ذرات الهيدروجين .

" مثال ذلك : مايحدث فى جزىء الماء – أنظر الشكل رقم (٢) وحيث أن الأكسجين يحتوى على ستة الكترونات فى مداره الخارجى والهيدروجين يحتوى على ذرة واحده ، فإن ذرة الأكسجين تكون رابطة تساهميه من ذرتين من الهيدروجين ".

ويقال أن جزىء الماء به رابطتين أحاديتين .



شكل رقم (٢) يوضح
الروابط فى جزيىء الماء

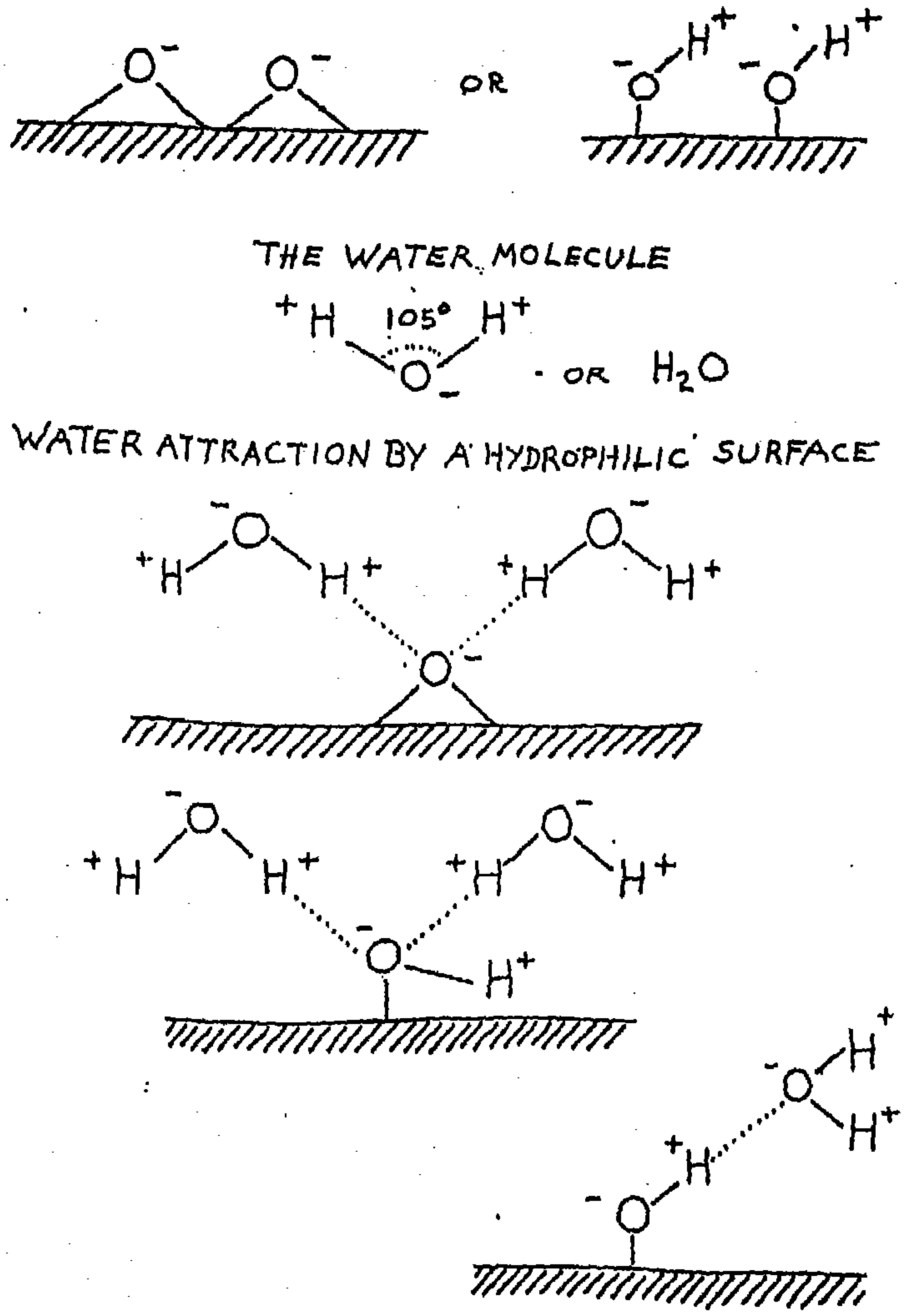
ويحمل طرف الجزىءالأكسجينى شحنة كهربية سالبة، والطرف الهيدروجينى شحنة كهربية موجبة . " لهذا يقال أن جزئ الماء عالى القطبية أو قطب Polar".

والأسطح التى تحتوى على شحنات كهربية . من ذرات الأكسجين ،، أو مجموعات الهيدروكسيل ، تسمى : الأسطح القطبية ، ويطلق عليها أيضا مصطلح Hydrophilic أى الأسطح المحبة للماء Water loving وذلك لأنها تجذب جزينات الماء . انظر الشكل رقم (٣).

وتتولد قوة الجذب الكهربية ، أو مايعرف بالمجال الكهربى Electric Field بواسطة ذرة الهيدروجين ، التى ترتبط مع ذرة الأكسجين ،

التـى تختلـف معهـا فـى الشـحنة، حيـث تتكـون مجموعـة هيدروكسـيل تسـبب الترابط بين جزىء الماء نفسه، أو جزيئات الماء مع بعضها .

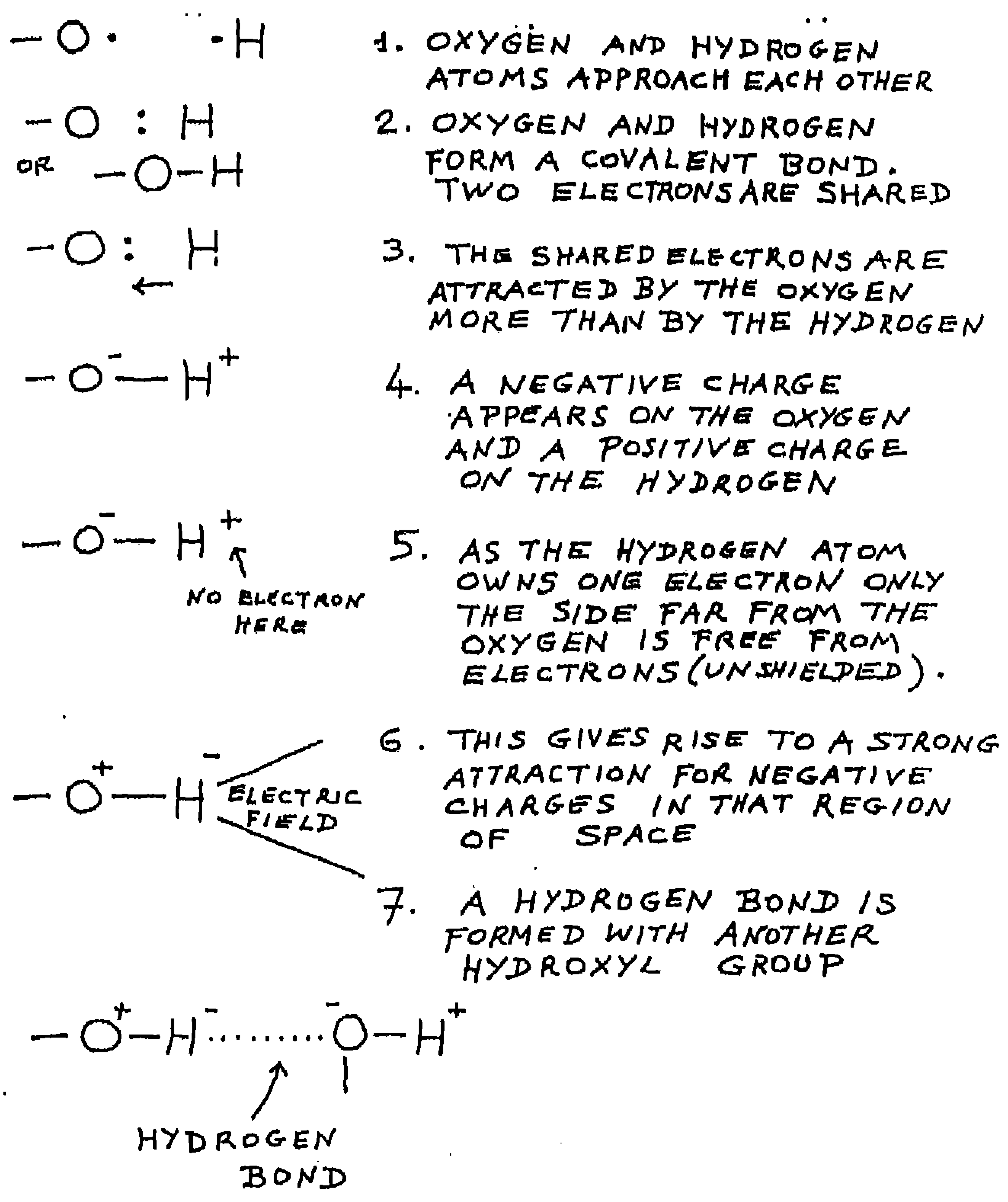
هذا الترابط المباشر الذى يتـم بيـن الهيدروجيـن والأكسـجين يسـمى : الرابطة الهيدروجينية Hydrogen bond.



شكل رقم (٣) يوضح

السطح القطبى وكيفية جذبه لجزيئات الماء

ويبين الشكل رقم (٤) أسلوب وخطوات تكون الرابطة الهيدروجينية .



شكل رقم (٤) يوضح

أسلوب تكون الرابطة الهيدروجينية

وعادة كل ذرة أكسجين تكون رابطتين مع الهيدروجين إلى جانب تكون رابطتين كيميائيتين في نفس الوقت ، وكل أربعة روابط تكون شكل رباعي يترتب حول ذرة الأكسجين .

وكل ذرة هيدروجين تستيطع تكوين رابطة هيدروجينية واحدة فى الاتجاه المضاد لرابطتها الكيميائية .

والرابطة الهيدروجينية أضعف من الرابطة الكيميائية العادية، والتى تظل قوية ، وتحتاج إلى كمية مناسبة من الطاقة لكى يتم تكسيرها، هذه الطاقة قد تصل إلى ٦٠٠٠٠ جول / ١٨ جم ماء . أى مايعادل واحد وات ساعة / جرام ماء One watt- Hour/gram of water.

- كيفية امتزاز الماء على السطح القطبى :

تمتز جزئيات الماء على السطح بواسطة ذرة الاكسجين التى تدير نفسها ناحية الجانب ناحية الجانب الموجب من السطح نفسه .

(انظر الشكل رقم ٣).

وفى حالة الأسطح القطبية فإن مجموعات الهيدروكسيل ربماتجذب كل من أيون الهيدروجين الموجب ، وأيون الأكسجين السالب ، لكن ارتباط جزئ الماء فى هذه الحالة يظل منتشرا ومستمرا من الجانب الموجب ، أى من ناحية أيون الهيدروجين ،وذلك لأن الاكسجين يستطيع تكوين رابطتين هيدروجينيتين Two Hydrogen bonds فى حين أن الهيدروجين يكون رابطة واحدة فقط .

فى هذه الظروف يتكون نوع من المجال الكهربى المزدوج يتكون من طبقتين كهربيتين .. طبقة موجبة فى الماء الممتز ، وطبقة سالبة على سطح الجامد أو المادة الصلبة The solid surface .

ولو طبقنا نظرية الجهد الكهربى An electric patential على المواد المسامية القطبية عند بللها أو ترطيبها بالماء بأن الماء سوف يتجه نحو القطب السالب The negative electrode " وهذا يعنى أن الماء الممتز فوق سطح الجوامد المنفذة يكون ذو شحنة موجبة " و بهذه الطريقة يمكن ازاحة كمية كبيرة من الماء.

وعلى أية حال ، ليس من الواضح أن الطبقة المزدوجة نفسها هى التى تكون ممتزه لجزيئات الماء التى تستطع أن تتحرك فى إتجاه القطب السالب ، إلا أن هذه الجزيئات تبدو كطبقة ذات شحنة موجبة تتجه ناحية السطح الجامد، بينما جانبها السالب يكون متصلا بجزيئات ماء أخرى . انظر الشكل رقم (٣).

أيضا يمكن تفسير الحركة الكهربية للماء Electrokinesis عن طريق تتبع حركة الأيونات السالبة والموجبة الموجودة فى الماء.

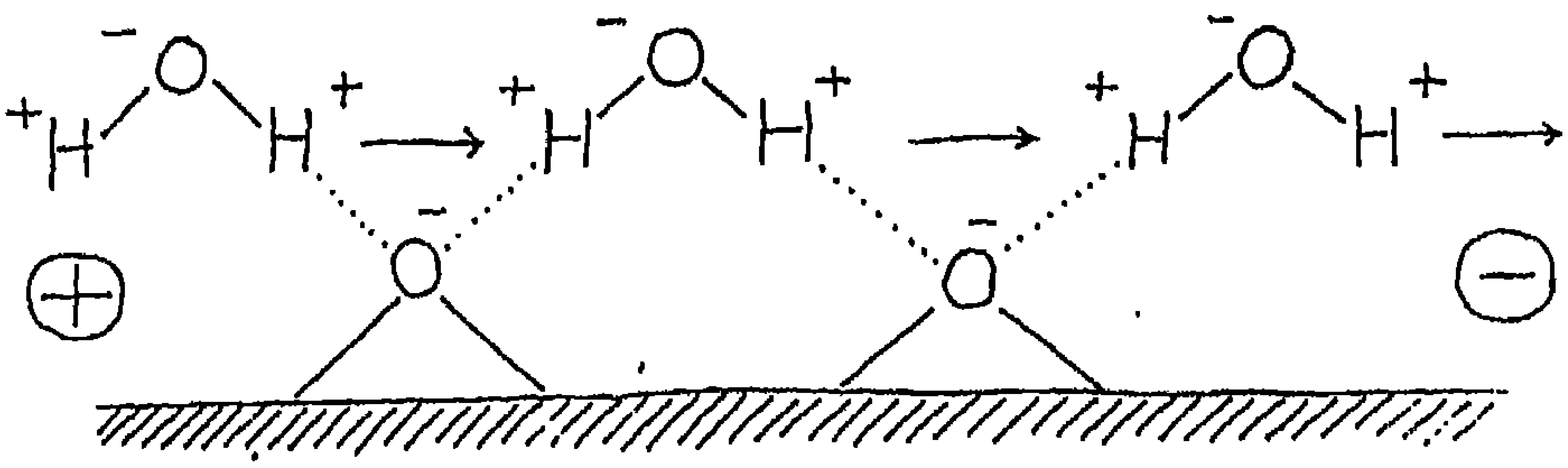
على سبيل المثال : تنشأ شحنة كهربية حول الذرات أو المجموعات الذرية ، نتيجة تحلل الأملاح - مثل: أملاح الكلوريدات التى تتحلل إلى أيون كلورسالب وأيون المعدن الموجب - أو بواسطة تحلل الماء نفسه إلى أيون هيدروجين موجب ، وأيون هيدروكسيل سالب . والأيونات الموجبة تكون أقل من الأيونات السالبة ، لذلك يكون لديها القدرة على جذب عدد أكبر من جزيئات الماء ، نظرا لأنها تكون ذات شحنة كهربية عالية .

من أجل ذلك فإن الأيونات الموجبة تكون قادرة على حمل عـدد أكبر من جزيئات الماء ، خاصة عندما يبدأ المجال الكهربى فى دفع الأيونات تجاه القطب الكهربى فى نقط متضادة .

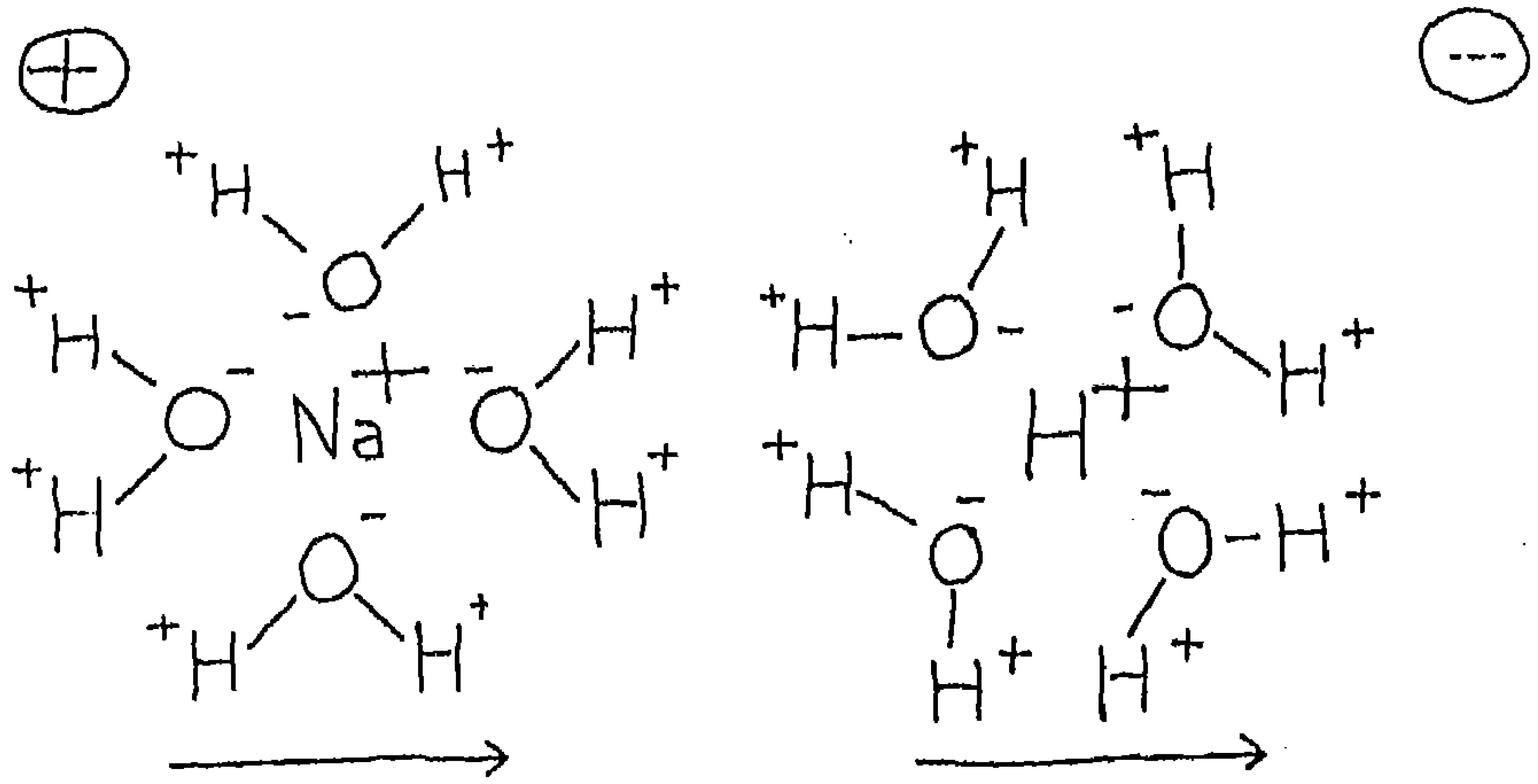
أيضا فإن الماء يبدو متجها نحو القطب الكهربى السالب الذى يستطيع حمل كمية زياة من الماء بواسطة الأيونات الموجبة أكثر من تلك التى تحملها الأيونات السالبة . انظر الشكل رقم (٥) .

ومهما يكن فإن كمية الطاقة اللازمة لتحلل الماء ، وميكانيكية هذا التحلل داخل مسام المواد القطبية قد لاتكون كبيرة فى كثير من الظروف ، وتحت هذه الظروف فإن جزيئات الماء التى تتحلل تستبدل بأخرى جديدة ، حيث تتكون فى المجال راطتين هيدروجيتين جديدتين ، وفى نفس الوقت تتولد الطاقة اللازمة لكسر الرابطتين السابقتين .

وتتطلب حركة الماء فى مسام المواد الجامدة المنفذة بعض الطاقة ، لتكسر حاجز الجهد الكامن الذى يحتمل وجوده بين أى موقعين ثابتين لجزئيات الماء بالقرب من السطح الجامد، هذه الطاقة لاتتعدى واحد وات ساعة / جم ماء وإذا لم تزح جزيئات الماء الجديدة ، الجزيئات القديمة فإن كل الطاقة اللازمة لكسر الروابط الهيدروجينية تكون مطلوبة فعليا لحركة المياه داخل ألمسام .



MOVEMENT OF POSITIVE IONS IN AN ELECTRIC FIELD



HYDRATION WATER IS CARRIED ALONG

NEGATIVE IONS ARE LARGER AND CARRY LESS WATER MOLECULES

شكل رقم (٥) يوضح

حركة الأيونات الموجبة فى المجال الكهربى

ونموذج لتحلل هيدروكسيد الصوديوم

١-٢- انتشار الماء فى مسام المواد القطبية :

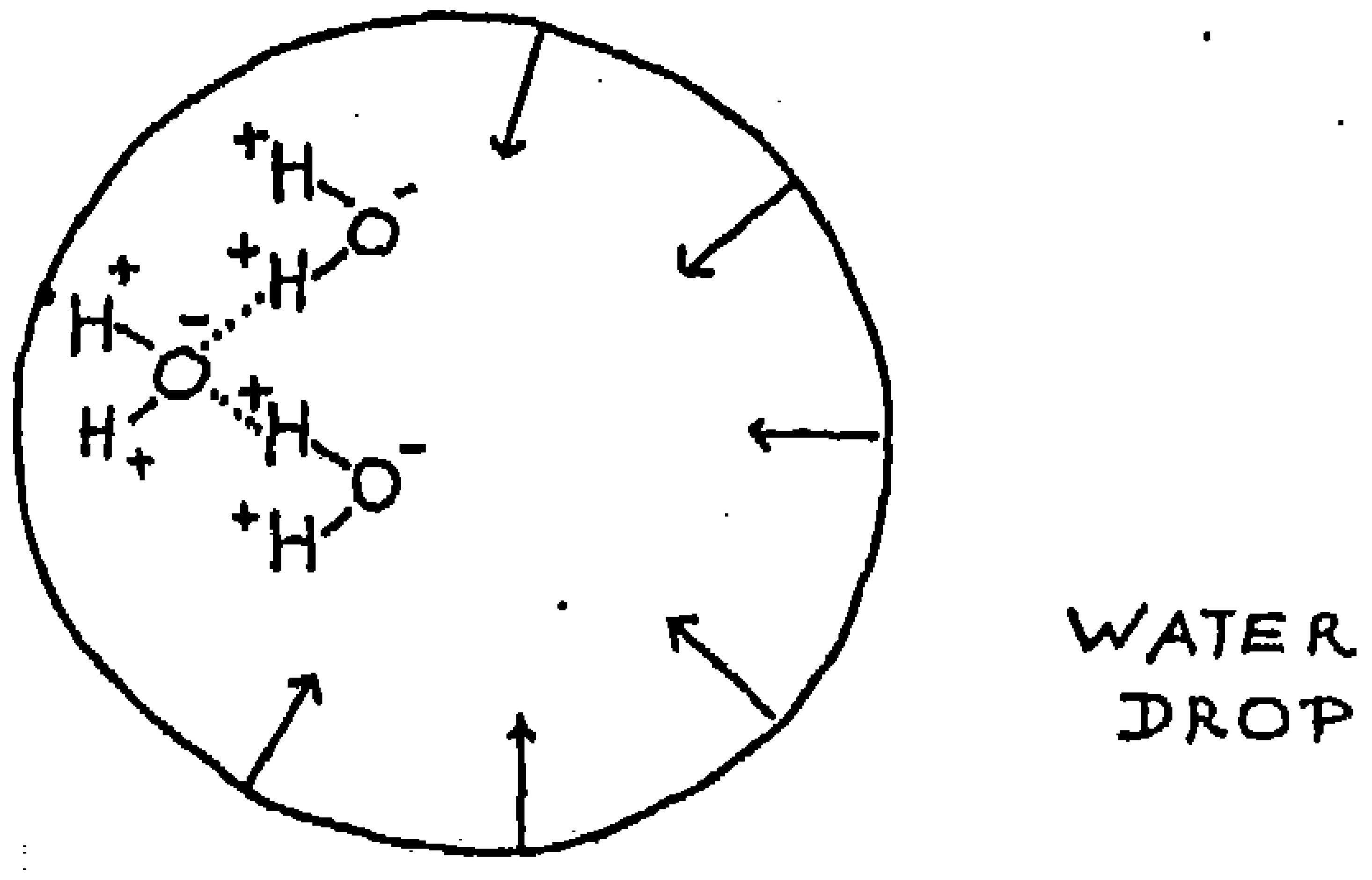
Water distribution in hydrophilic pores:

- قطرة الماء **Water drop:**

كل جزيئات الماء على سطح قطرة المـاء تنجذب نحـو الداخـل - أى نحومركز قطرة الماء - بواسطة الروابط الهيدروجينية ، التى تربط أيضا جزيئات الماء ببعضها داخل قطرة الماء .

وتكون النتيجة وجود ميل نحو تقليل مساحة السطح ليأخذ الشكل الكروى والذى تظهر عليه نقطة الماء . انظر الشكل رقم (٦)

وهذه الحالة تسمى : التوتر السطحى Surface tension



شكل رقم (٦) يوضح

نقطة المياه وقوى التجاذب بين جزيئاتها

- قطرة الماء على السطح القطبى الجامد :

Water drop on the surface of Hydrophilic solid

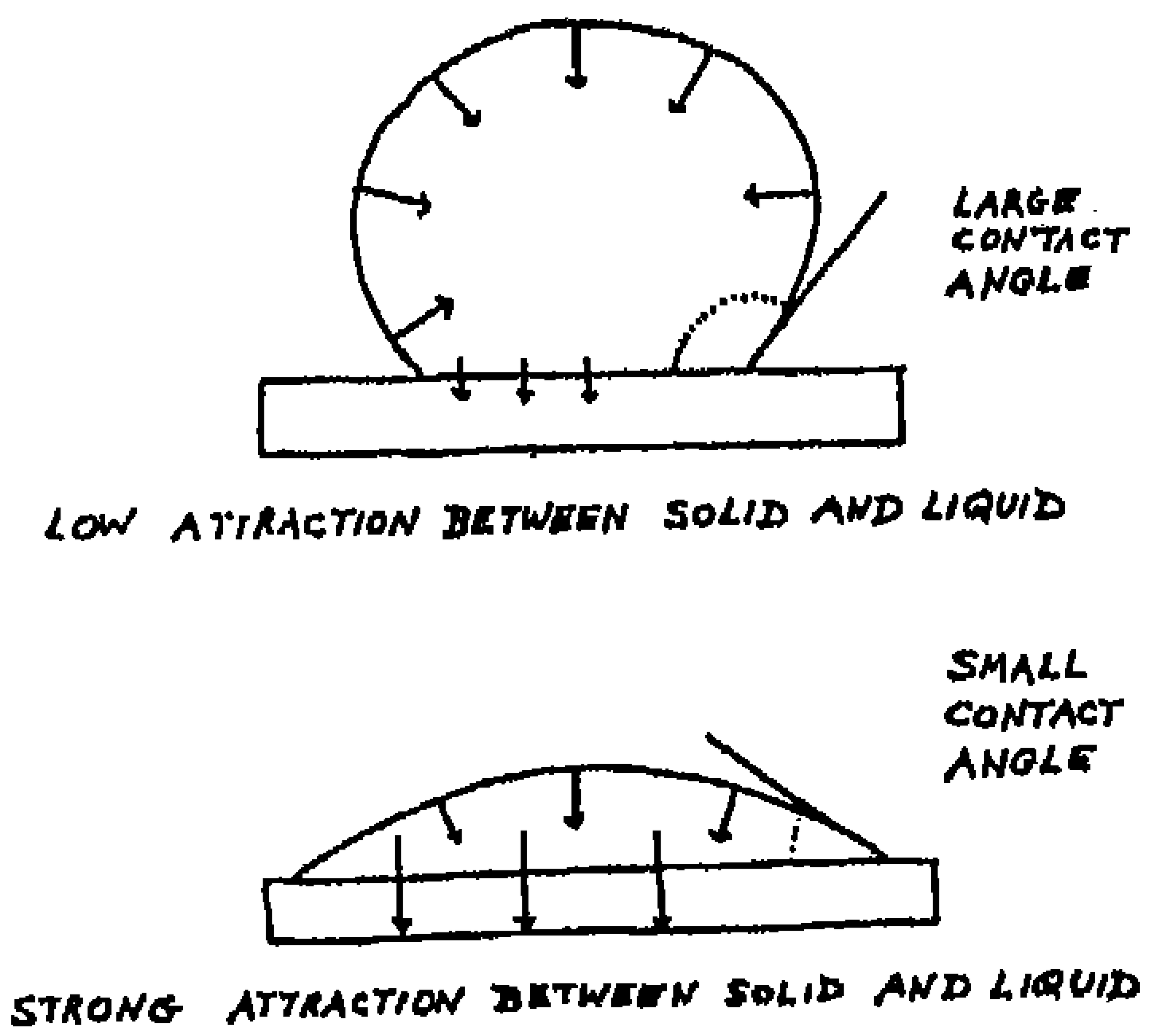
يتحدد شكل قطرة الماء على أسطح المواد القطبية الجامدة ، عن طريق قوى التجاذب بين جزيئات الماء والسطح الجامد.

هذه القوى يمكن معرفتها عن طريق قياس زاوية التماس Contact Angle بين قطرة الماء وسطح الجامد.

"وتعرف زاوية التماس : بأنهاالزاوية الواقعة فى باطن السائل ، والمحصورة بين اتجاه المماس لسطح السائل وسطح المادة الجامدة عند نقطة كلامهما".

فى السوائل القطبية مثل : الماء ، تكون زاوية التماس بينها وبين السطح الحامد كبيرة ، مما يدل على أن قوة التجاذب بين الماء والسطح تكون صغيرة.

على العكس من ذلك إذا كانت زاوية التماس صغيرة ، فإن قوى التجاذب بين الماء والسطح تكون قوية .(انظر الشكل رقم ٧).



شكل رقم (٧) يوضح
قوى التجاذب بين الجامد والسائل القطبى

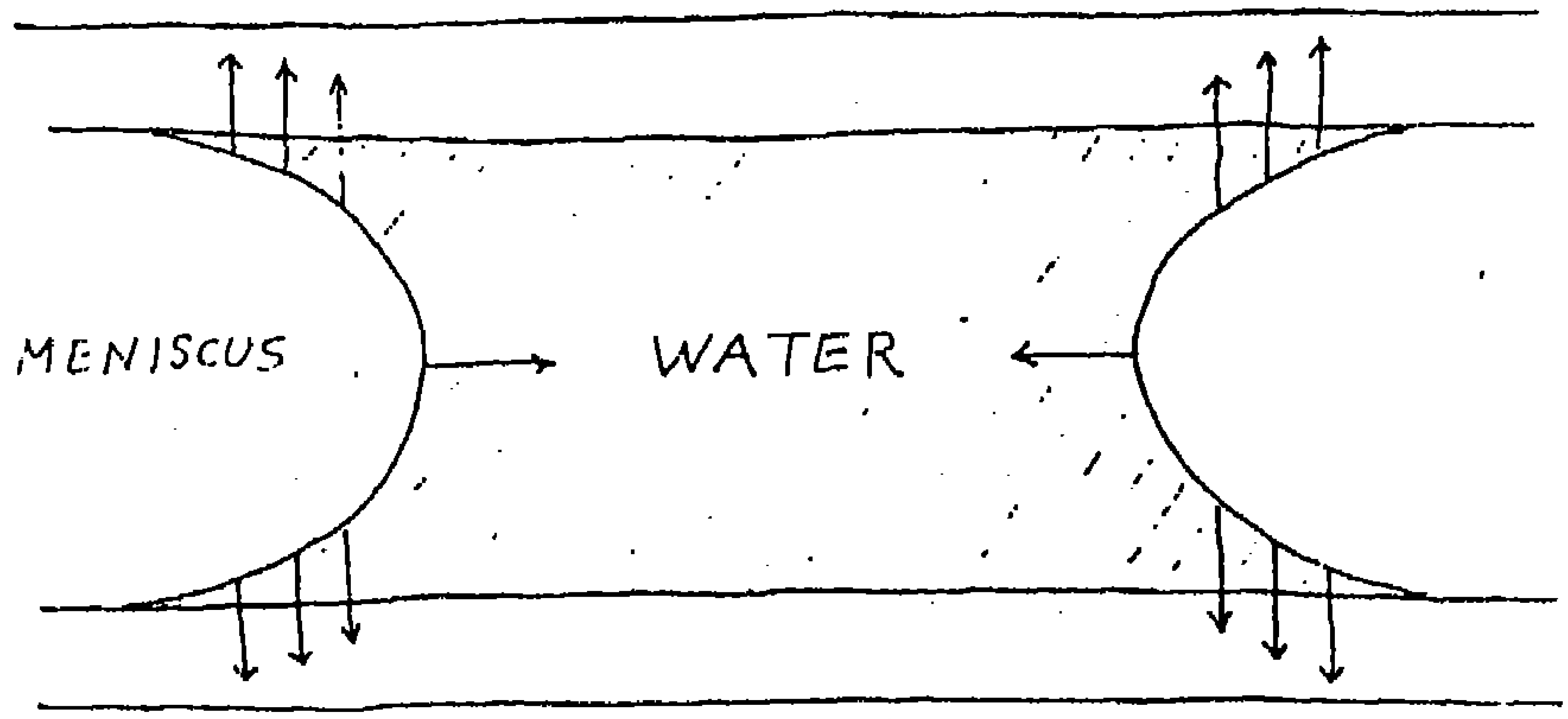
فى السوائل غير القطبية .. دائما ماتكون زاوية التماس بينها وبين أسطح المواد الجامدة صغيرة، وذلك لايرجع إلى قوة جذب الأسطح الجامدة لقطرات السائل، بل يرجع إلى صغر قوى التجاذب الداخلى بين الجزيئات فى السائل نفسه.

أى أن قوى التوتر السطحى للسائل تكون ضعيفة Low surfact Ension.

- شكل المياه داخل الجوامد القطبية المنفذة

Water inside a Hydrophilic porous solid

يظهر الشكل الهلالى Meniscus لسطح الماء داخل المسام الصغيرة للمواد المنفذة ، عن طريق التجاذب الذى يحدث بين سطح الماء وسطح المسام الدقيقة وفى نفس الوقت يحدث تجاذب فى اتجاه المركز بين جزيئات الماء نفسه. كما هو موضح فى الشكل رقم(٨).



شكل (٨) يوضح

مظهر المياه داخل مسام الجوامد ال
منفذة

" وحيث أن جزئ الماء فى باطن السائل يقع تحت تأثير قوى جذب من جميع الاتجاهات ويكون روابط مع الجزيئات المجاورة له أكثر من تلك التى يكونها جزىء آخر بالقرب من سطح السائل. لذلك نجد أن التوتر السطحى فى السوائل يعمل على انقاص مساحة سطح السائل المعرض للهواء".

- المص الشعرى Capillary suction:

تسمى المسام الصغيرة جدا أو الدقيقة : مسام شعرية Capillary pores أو شعريات Capillaries وأصلها كلمة دقيقة تعنى : شبيه الشعر Har-like.

" وتعرف الخاصة الشعرية Capillarity بأنها حركة المياه داخل الجوامد المنفذة ".

والماء يتحرك داخل المسام الدقيقة لو قوة جذب سطح المسام لجزيئات الماء – أى قوى التلاصق – أكبر من قوى التجاذب بين جزيئات الماء نفسها – أى قوى التماسك .

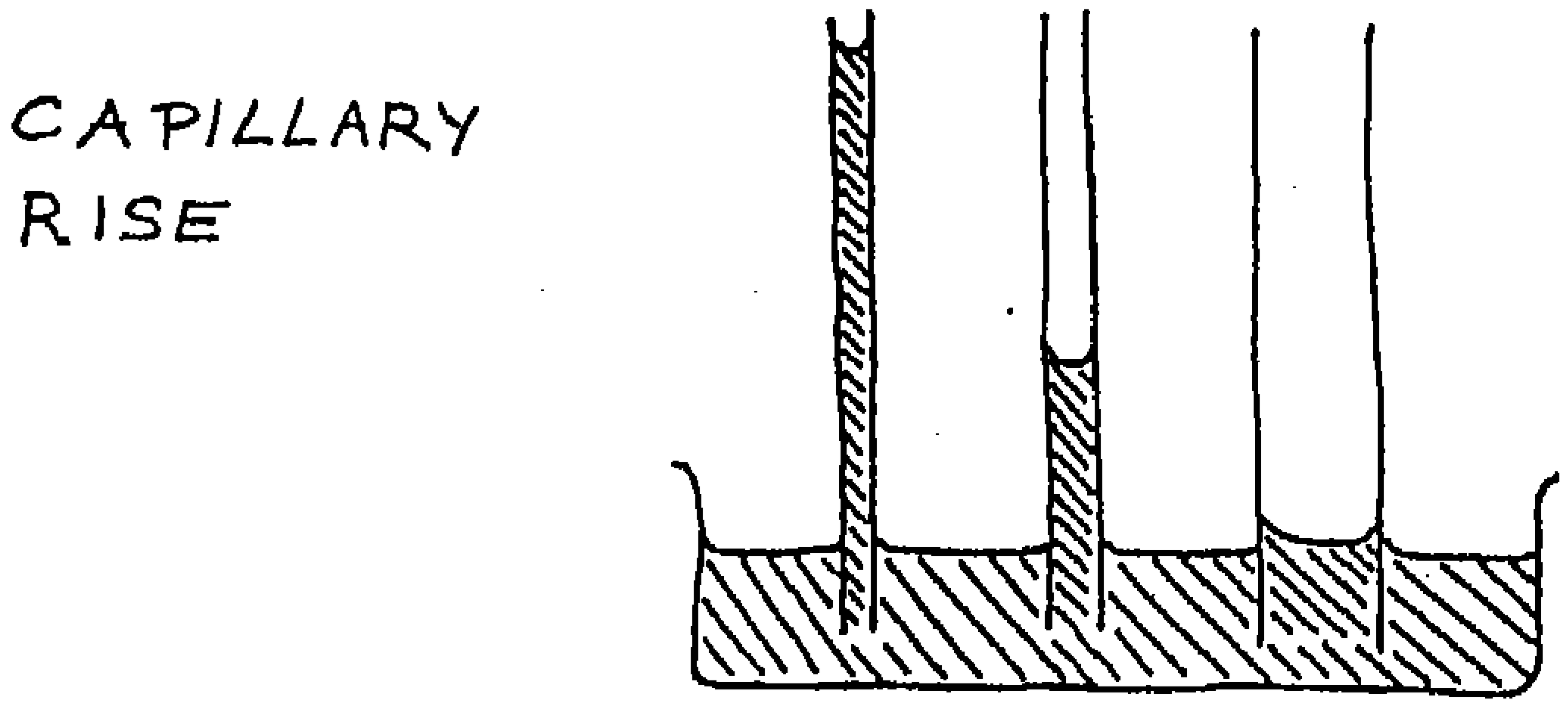
" ويلاحظ أن قوى التماسك تعمل ضد قوى التلاصق"

كذلك فإن حجم قوة المصل للسوائل يعتمد على :

- طبيعة السطح الماص The nature of the surface
- قطر المسامة The diameter of the pore

وعندما يقل قطر المسامه تزداد قوة المص الشعرى ، أى أن المياه ترتفع داخل المسام بسرعة عكس الجاذبية الأرضية . وذلك بسبب زيادة قوة الجاذبية الشعرية The capillary force عن قوة الجاذبية الأرضية

وتسمى ظاهرة ارتفاع المياه داخل المسام الدقيقة فى The gravity force
المواد المنفذة بظاهرة الارتفاع الشعرى Capillary rise.



شكل رقم (٩) يوضح
الخاصية الشعرية

" وفى حالة تساوى القوتين – القوة الشعرية وقوة الجاذبية الأرضية – يتوقف الارتفاع الشعرى ".

ولو أن المص الشعرى للماء غير متعادل Not counter balance فى وجود ميكانيكيات أخرى .. مثل: بخار الماء ، داخل مسام مواد البناء المنفذة ، فإن الارتفاع الشعرى ضد الجاذبية الأرضية قد يصل إلى عدة مترات .

من أجل ذلك فإن الارتفاع الشعرى يعتبر ظاهرة طبيعية Spontaneous Phenomenon تحدث بسبب جذب الرابطة الهيدروجينية للماء ناحية بعض الأسطح .

وليس من الضرورى أن نستعين بالطاقة الكامنة الكهربية Electrical potential لكى نفسر حدوث ظاهرة الارتفاع لبخار الماء داخل

مسام مواد البناء . على الرغم من أن التطبيقات العملية للطاقة الكامنة تفسر لنا أسباب الحركات الأخرى لجزيئات الماء.

إلا أنه يجب أن نقرر أن ثمة كوامن مختلفة لها صلة بالتربة، ويمكن قياسها فى مسام المواد بعدما ترتفع المياه داخلها من التربة .

إلى جانب هذه الحقيقة فإن مثل هذه القياسات تكون قليلة الفائدة أو عديمة الجدوى .. مثل: إختلاف الكوامن التى يحتمل أن تعارض خاصية الارتفاع الشعرى أكثر من تساندها .. وذلك طبقا لقاعدة أو مبدأ لوشاتيليه Le chatelier's principle " عندما يؤثر عامل من العوامل فى نظام متزن، يقوم هذا النظام بتعديل نفسه فى الاتجاه الذى يمتص هذا التأثير".

- **انتشار الماء فى مسام الجوامد القطبية :**

Water distribution in porous Hydrophilic solid

لو أن كمية المياه الموجودة فى مسام الجوامد غير كافية لملئهاتماما ، فإن الماء ينتشر فى مثل هذه الحالة حتى تصل طاقته إلى أقل حالة من حالات الطاقة The lowes energy state .

وفى هذه الحالة يحتمل أنها تستفيد استفادة كاملة من قوى التجاذب ، لكن قد يحدث تأثير ممزق لهذه القوى The distruptive effect بسبب الحرارة التى يمكن أن تساعد على وجود حالة من الفوضى ، أو عدم النظام بين جزيئات الماء .

ولكن نوضح عملية انتشار الماء فى مسام الجوامد المنفذة فإننا نضع طريقة ملء المسام تدريجيا على شكل رسم تخطيطى يبين تزايد المحتوى المائى فى أربع مستويات .

- **المستوى الأول :** المادة جافة تماما ، وكل المسام خالية من الماء.
- **المستوى الثانى :**
  - المسام الشعرية تمتلىء بالماء.
  - أسطح المسام الكبيرة تظل جافة.
  - احتمـال انتشـار المـاء وامتصاصـه عنـد قواعـد هـذه المســام وذلك يحدث طبقا لقطر كل واحد من هذه المسام .

المستوى الثالث :

- كل المسام الشعرية تملأ بالماء .
- تتغطى أسطح الماء الكبيرة بطبقة رقيقة من الماء.

المستوى الرابع :

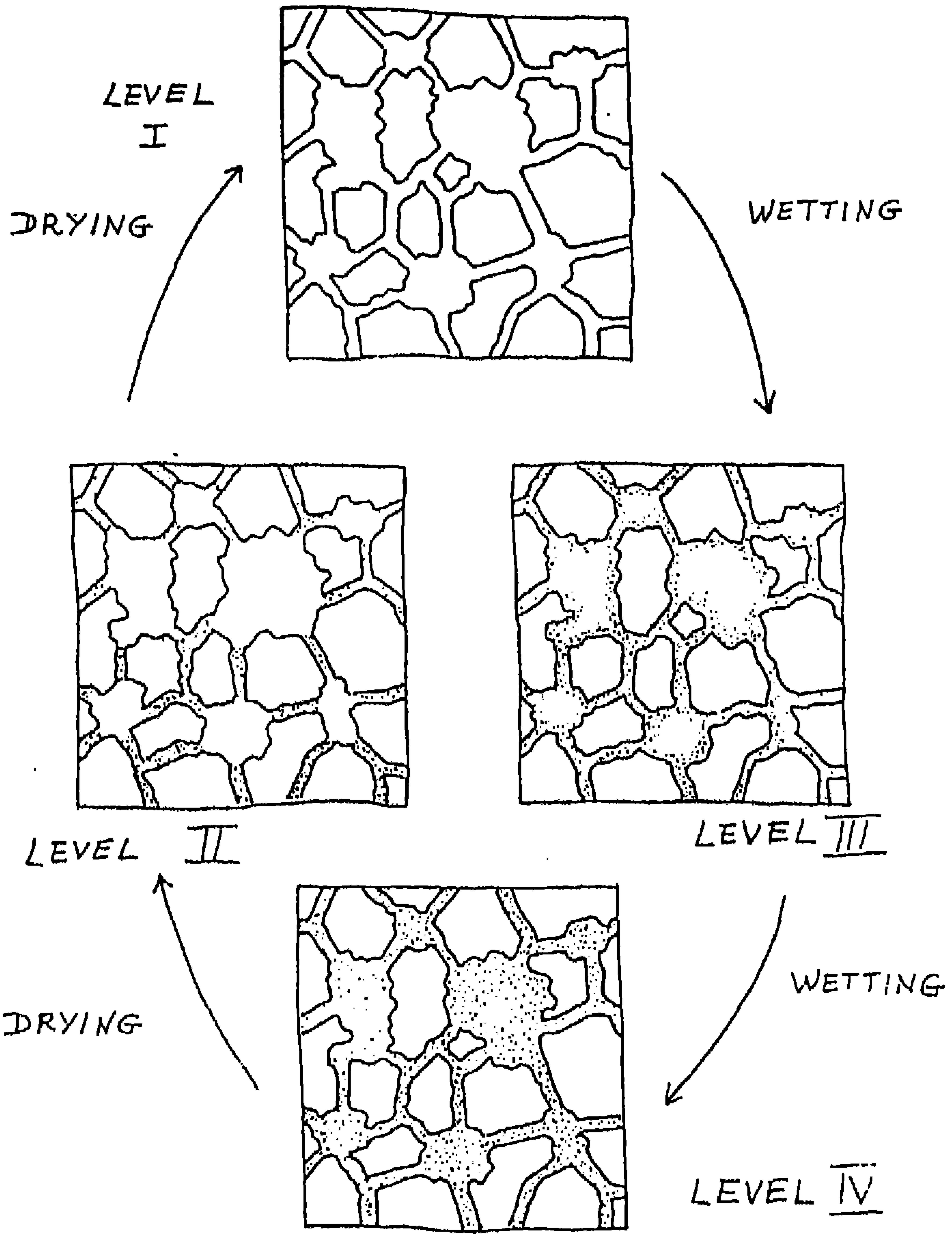
- كل المسام الشعرية والمسام الكبيرة تملأ بالماء .

والشكل رقم (١٠) يوضح المستويات الأربع السابقة .

ويجب ملاحظة أنه :

- فى المستوى الثانى تكون المسام أقرب للجفاف ، فى حين أنه فى المستوى الثالث تكون المسام أقرب للبلل .
- نموذج الجفاف والبلل فى كل من المستوى الثانى والثالث يمكن أن يوجد فى كل المستويات .

وبناء عليه فإن التقسيم السابق لحالات بلل وجفاف المواد المسامية عن طريق الانتشار نموذج لحاله مثاليه قد لاتوجد هكذا فى الواقع ".



شكل رقم (١٠) يوضح

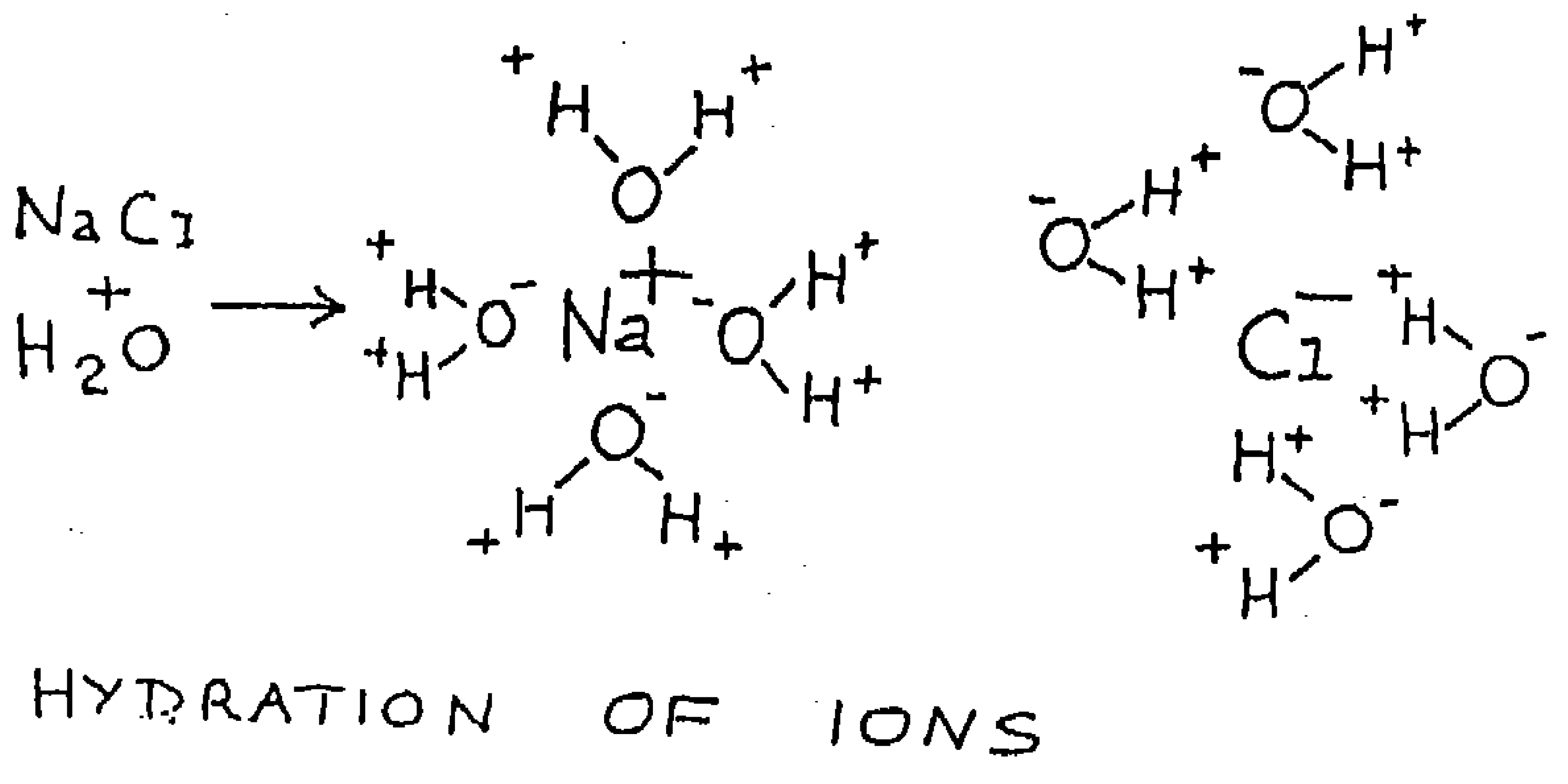
مستويات انتشار الماء فى الجوامد المنفذه القطبية

- محتوى الماء الحرج :The critical water content

ذكر فوس Vos وآخريـــن، أنه إذا زاد المحتـوى المائى للمسام عن المحتوى المائى المناظر للمستوى الثالث ، فإن الماء سوف ينتقل فى الصـورة السائلة .

لذلك فإن المستوى الثالث يعــــرف بمحتوى المـــاء الحـرج The critical water content ويمكن أن نتعرف على محتوى الماء الحرج من خلال طبيعة المادة والنظام الهندسى لمسامها The geometry of the material porous system ومع ذلك فإن وجود أملاح ذائبة فى الماء يزيد الى حد كبير محتوى الماء الحرج ، وذلك بسبب تميؤ الأملاح والخاصة الهيجروسكوبيه لأيونات الأملاح .

Hydration and Hygroscopicity of the salt ions.



شكل رقم (١١) يوضح

تميـــؤ الأمـــلاح

١-٣- حركة المياه فى الحاله السائلة :

Movement of water in the liquid phase

توجد العديد من القوى التى تستطيع تحريك الماء فى الحالة السائلة داخل مسام المواد الجامدة المنفذة .

وفيما يلى نذكر هذه القوى :

أ- المص Suction:

يحدث المص عندما تنتقل المياه داخل مواد البناء المسامية من المنطقة التى بها المحتوى المائى أعلى من المستوى الثالث ، للمنطقة التى بها المحتوى المائى أقل من المستوى الثالث .

" أى أن المص هو حركة المياه من المنطقة التى إمتلأت فيها المسام الشعرية بالماء ، وأيضا بللت أسطح المسام الواسعة به ، إلى المنطقة التى إمتلأت فيها المسام الشعرية بالماء وأسطح المسام الواسعة مازالت جافة ".

مثال ذلك : بلل المادة الصلبه الجافه عندما يتسلل الماء إلى داخل أحد جوانبها عند إتصاله بالمادة الرطبه أو المبلله ، وبعدئذ ينتقل الي المناطق الجافة.

" أما قوى المص Suction forces فهى القوى التى تساعد الماء على الانتقال أو التحرك من المناطق المشبعة به إلى المناطق الجافة أو قليلة الماء".

ب - الانتشار Diffusion:

يحدث الانتشار عندما يكون المحتوى المائى أعلى من المستوى الثالث على جانبى الحركة On both sides of the Movement بمعنى

تحـرك الميـاه مـن المنطقـــــــة ذات المحتـــــوى المائــــــى الأعلـى Higher water content إلـى المنطقـــــة ذات المحتـوى المـائى الأقـل Lower water content.

" أما قوى الانتشار Diffusion forces فهى القوى التى تساعد الماء على التغلغل والانتشار داخل المواد المسامية الجافة أو شبه الجافة".

جـ - الأسموزيه Osmosis:

الأمـلاح القابلـة للذوبـان فىالمـاء ، تـذوب وتفكـك إلـــى أيونـــات Dissociated into ions وهـذه الأيونـات تكـون ذرات ذات شـحنة كهربيـة Electrically charged atoms .

والملاحظ أن كل الأيونات تجذب جزيئات الماء بواسطة قوى كهربيـة Electrical forces وتسمى هذه العملية .. عملية التميؤ Hydration ونتيجة لذلك فإن الماء يتحرك من المناطق التى تحتوى علـى أيونـات قليلـة - تركـيز المالح فيها ضعيـف - إلـى المنـاطق التـى تحتـوى علـى أيونـات كثـيرة - أى تركيز الملح فيها عال .

د - الحركة الكهربية Electrokinesis:

تـم توضيـح ذلـك مسبقا - يرجـع ص - حيـث يتجـه المـاء ناحيـة القطـب السـالب ، داخـل الجـامد المنفذ وذلـك يتوقـف عـل المجـال الكهربـى Electrical field وفى حالة تفكك الأملاح تكون أيونات، هذه الأيونات تتجه ناحية القطب الذى يخالف شحنتها الكهربية حاملة معها هيدروجين الماء.

هذه الظاهرة تسمى : الأسموزيه الكهربية Electro- Osmosis.

هـ - الحرارة Heat:

فى حالة بلل الجوامد المسامية فإن الماء يتحرك من المناطق الساخنة Warmer region فى إتجاه المناطق الأبرد منها Colder region أو الأقل سخونة مع ملاحظة أن ميكانيكية المص The suction Mechanism تتطلب وجود مساحات جافة وأخرى مبللة.

وتعتمد كل الميكانيكيات التى تؤدى إلى حركة الماء فى الصورة السائلة داخل مسام الجوامد المنفذة ، على استمرار وجود طبقة رقيقة من الماء داخل هذه المسام تتغذى من خلال انتقال جزئيات الماء اليها.

وبناء على ذلك تحدث كل ميكانيكيات حركةالمياه - الانتشار والاسموزيه والحركة الكهربية والحرارة - فقط عندما يكون المحتوى المائى للمسام ، أعلى من كمية المياه المطلوبة لملء المسام الشعريه ، ولتغطية أسطح المسام الواسعة.

أى ينتقل الماء داخل مسام الجوامد المنفذة عندما يصل محتواها المائى إلى محتوى الماء الحر أو إلى المستوى الثالث .

١-٤ حركة المياه فى الحالة الغازية :

Movement of water in the vapour phase

أ - التكاثف والامتزاز Condensation & Adsorption:

قد تنتقل جزيئات الماء إلى سطح الجوامد المسامية أو المنفذة وهى فى الحالة الغازيه - بخار مثلا - حيث تتخللها . وتتسرب إلى داخلها من خلال المسام وذلك فى حالتى التكاثف والامتزاز.

- التكاثف Condensation :

يحدث التكاثف عندما تكون درجة حرارة السطح المعرض للهواء أقل من درجة حـرارة نقطـة النـدى The dew-point temperature وبمـا أن جزيئات الماء فىالحالة الغازية ، توجد حرة فى الهـواء فإنـه عندمـا يصطـدم بسطح بارد .. أو تنخفض درجة حرارة الجو . تصبح كميـة بخـار المـاء فـى الهـواء كافية لتشبعه ، وتقل قـدرة الهـواء علـى حمـل هـذا البخـار ، فيبـدأ فـى التكثف.

وعادة يحدث أن تتحد جزيئات الماء مـع بعضهـا علـى سـطح الجـامد نفسه، لتكون طبقة رقيقة من المـاء فـى الحالـة السـائله A film of liquid water ويتحـرك المـاء بعـد ذلـك أو ينتقـل إلـى داخـل المسـام بواسـطـة أحـد الميكانيكيات السابق شرحها .

- التكاثف البينى Interstitial condensation :

من الممكن أن تكون درجة حـرارة سـطح الجوامـد المنفـذة المعـرض للهواء أعلى من درجة حرارة نقطة الندى .. لكن درجـة الحـرارة داخـل هـذه المواد أقل من درجة حرارة نقطة الندى ، فى مثل هذه الحالة ، فـإن جزيئـات الماء تتكثف داخل مسام هذه المواد .

" وهذا يعنى أن الماء فى صورة بخار يتسرب من السطـح إلـى داخـل المواد المنفذة عن طريق المسام .. ويتكثف فى المسام بسبب برودة الداخل".

- انتشار البخار Vapour diffusion:

فى الجوامد المنفذة الجافة نسبيا ، أى ذات المحتوى المائى الأقـل مـن المستوى الثالث ، ينتقل الماء من المناطق التـى تحتـوى علـى عـدد كبـير مـن

جزئيات الماء عالقة فىالهواء إلى المنـاطق التى تحتوى على عدد أقل من جزيئات الماء عالقة فى الهواء.

بمعنى أن الماء ينتقل فى صورة بخار من المناطق التى يكون فيها ضغط بخار الماء عال High vapour pressure إلى المناطق التى يكون فيها ضغط بخار الماء أقل Lower vapour pressure.

ونتيجة لذلك فمن الممكن أن يحدث بخر للماء فى بعض المسام وفى مسام أخرى يحدث تكاثف لبخار الماء .

وتستطيع القول بأن حركة المياه فى الحالة الغازية ، أى فى صورة بخار، تحدث عندما يستحيل إنتقال المياه فى الحالة السائلة بآليات أخرى لكن لايتم الانتقال بدرجة كافية Less efficient.

- الخاصية الهيجروسكوبية Hygroscopicity:

" الخاصية الهيجروسكوبية هى : قدرة المادة على مص الماء".

ومن المعروف أن أسطح الجوامد القطبية تستطيع جذب جزيئات الماء التى تمتز على السطح Adsorped on the surface حتى ولو كانت درجة حرارة هذا السطح أعلى من درجة حرارة نقطة الندى The dew- point temperature of the air.

ويحدث الامتزاز الهيجروسكوبى Hygroscopic adsorption عندما تكون الرطوبة النسبية فى الهواء أعلى من القيمة الحدية لها A limiting value والتى تعتمد على طبيعة المادة ، وكذلك قطر المسام.

فالمسام الصغيرة تسهل عملية الامتزاز الهيجروسكوبى، وربما تمتلىء هذه المسام بالماء ، إذا كان معدل الرطوبة النسبية أقل من ١٠٠٪.

وتتميز الأملاح القابلة للإذابة فى الماء بالخاصية الهيجروسكوبية، إذ يمكنها إمتزاز كميات كبيرة من الماء عندما يكون معدل الرطوبة النسبية أقل من ١٠٠٪.

وتتميز الاملاح القابلة للإذابة فى الماء بالخاصية الهيجروسكوبية ، إذ يمكنها إمتزاز كميات كبيرة من الماء عندما يكون معدل الرطوبة النسبية أقل من ١٠٠٪,

على سبيل المثال : ملح كلوريد الصوديوم إذا ترك معرضا للهواء ، فإنه يمتز الماء منه ، إذا كان معدل الرطوبة النسبية به أعلىمن ٧٥٪,

من هنا نجد أن المواد القطبية المسامية يزداد محتواها المائى عن طريق تكثف أو إمتزاز بخار الماء من الهواء ، حتى ولو لم تكن هذه المواد على اتصال مباشر بالماء ،وهو فى حالته السائلة Liquid water

ب- البخر والامتصاص Evaporation & desorption :

وجود قوى التجاذب الكهربى بين الأسطح القطبية وجزيئات الماء ، تسهل دخول الماء إلى مسام المواد القطبية أكثر من طردها أو إزاحتها.

" وهذا يعنى أن قوى البخر تعمل عكس قوى التجاذب الكهربى بين جزيئات الماء والأسطح القطبية "

- البخر Evaporation:

مبدئيا تحدث عملية البخر فى الطبقات الرقيقة للماء الموجودة على أسطح الجوامد المنفذة ، عندما تكون الرطوبة النسبية فىالهواء المتصل بالسطح أقل من ١٠٠٪.

وكقاعدة عندما ينخفض معدل الرطوبة النسبية فإن عملية البخر يمكن أن تتم بصورة معتدلة .

أيضاعندما يتحرك الهواء بصورة مستمرة ، فإنه يحمل جزيئات الماء، مما يساعد على تحولها إلى الحالة الغازية أو حالة البخار The vapour phase وفى مسام المواد القطبية يحدث تشبع سريع للهواء الموجود داخل هذه المسام ، أى تصل الرطوبة النسبية إلى ١٠٠٪ وذلك بسبب ضعف دورة المياه بداخلها ، وفى نفس الوقت يصبح السطح الخارجى للجوامد المنفذة هو السطح الذى يحدث فيه عملية البخر ، ويظل الماء الموجود داخل المسام باستمرار هو المصدر المغذى للسطح، لكى تستمر عملية البخر بمعدلات جيده.

وعندما ينقص محتوى مسام الجوامد المنفذة منا لماء إلى درجة أقل من المحتوى الحرج للماء داخل المسام ، فإن الماء فى الصورة السائلة لايمكن أن يتحرك تجاه السطح .

وفى هذه الحالة تظل ميكانيكية انتشار بخار الماء Vapour diffusion Mechanism هى الميكانيكية الملائمة فى هذه المرحلة .

كما أن معدل جفاف قطرات الماء فىهذه المرحلة يظل مستمرا وبكميات كبيرة ، أما الجفاف الكامل للمواد فيبقى صعبا إلى حد ما.

- الامتصــاص De- Sorption :

عندمـا تكـون المـواد متصلـة بـالهواء الجـوى ذو الرطوبـة النسـبية المنخفضة ، فإنه من الممكن حدوث عملية إمتصاص للماء الممتز على أسطح هذه المواد .

وفى هذه الحالة أيضا فإن دوره الهواء Air circulation قد تدعم إزالة المياه من على السطح .

أيضا فإن ظاهرة التخلفيه Hysteresis phenomena تجعل حدوث عملية الامتصاص أكثر صعوبة من تلك التى يمكن تقديرها عن طريق عمليـة الإمـتزاز وذلـك يعنـى أن عمليـة الامتصـاص تظـل دائمـة الحـدوث فـى ظـل إنخفاض درجة الرطوبة النسبية بصورة أكـثر مـن تلـك التـى يحـدث أثناءهـا عملية الامتزاز.

على سبيل المثال: ملح كلوريد الصوديوم ، يمكنه إمتزاز الماء، عندما تصل الرطوبة النسبية فىالهواء إلـى ٧٥٪ فـأكثر ، لكنـه يبدأ فـى طـرد هـذا الماءعندما تنخفض الرطوبة النسبية عن ٧٠٪.

والحقيقة أن عملية المص Suction وعملية الامتزاز Adsorption تحدثان بسهولة فى المواد المسامية القطبية ، بينما تحدث عمليات الامتصـاص والجفاف Drying & De-sorption ببعض الصعوبة ،وذلك فـى الظـروف الطبيعية The natural condition .

وفى نفس الوقت قد تتكون حالة بلل إذا التقطت المواد القطبية قطرات الماء من الهواء الجوى ، وامتـلأت مسـامها الشـعريه ، وكذلـك تكونـت طبقـة رقيقة من الماء على أسطح مسـامها الواسـعة أى وصلـت إلـى حـد المسـتوى

الثالث من التقسيم السابق (انظر شكل رقم ١٠) ففى هذه الحالة يصعب جفافها نسبيا ، إذ أن عملية الجفاف تحتاج إلى طاقة أعلى ووقت أطول.

علاوة على ذلك فإنه إذا لم تؤخذ الاحتياطات المناسبة ، فإن المواد الجافة المسامية يكون لها مطلق الحرية فى الحصول على الماء بكميات مختلفة ، صغيرة أو كبيرة ، ليوازن محتواها المائى الداخلى مع المحتوى المائى للهواء المحيط فى البيئة الخارجية .

١-٥- الارتفاع الشعرى فىالمبانى المساميه :

Capillary rise in porous masonry

لو أن أساسات المبانى غير معزولة Not- insulated ضد المياه الأرضية " أو أن العزل كان جزئيا أو متهالكا " فإن الميـاه تتخلل عناصر البناء بواسطة ميكانيكية المص The suction mechanism .

ويعتمد ارتفاع الماء فى المسام ، وكذلك المدى الذى يصل اليه - بصفة أساسية - على قوى التوازن بين الماء الداخل الىالمسام ، والماء المتبخر من سطح الحوائط وعندما تتساوى هذه القوى فإن إرتفاع الماء سوف يتوقف .

أيضا يعتمد إمتصاص الماء على سمك الحوائط ، إذ يزداد ارتفاع الماء فى الحوائط السميكة عندما يقل تأثيـــــرقوى الجاذبيــــة الأرضية The gravity forces ، ولايعتد بتأثيرات قوى الجاذبية الأرضية المضادة لإرتفاع الماء ، إذا تعلق الأمر بقوى البخر ، حيث تبدو فى الحالة الأخيرة مهملة .

ويلاحظ أن دورة الهواء بالقرب من السطح تعجل عملية البخر ، وتتسبب فى خفض مستوى الرطوبة .

أيضـا فـى حالـة النشـاط المستمر للأمـلاح الذائبـة فإنهـا تلعـب دور الخاصة الشعريـــة ، حيث تتسبب فـى ظاهـــرة الإرتفـاع الشـــعرى Thc capillary Rise لأنها تتراكم على أسطح المبانى بعد تعرضها لعمليـة البخر. هذا بالاضافة إلى أن تبلور هذه الأملاح يؤدى إلى تلف هذه الأسطح.

كما تجذب الأملاح المـاء بالخاصـة الأسموزيه Ismosis وقـد يـؤدى ذلك إلى رفع مستوى الماء إلى حد ما داخل عناصر المبانى .

كما أن تراكم الملح لايتوقف إذا وجـدت الأمـلاح الذائبـة ، واستمرت عمليـة البخـر مـن السـطح، وبذلـــك لاتصـل إلـــى حالـة التـوازن الثـابت Stable equilibrium الذى يحدث عند توقف عمليات البخر .

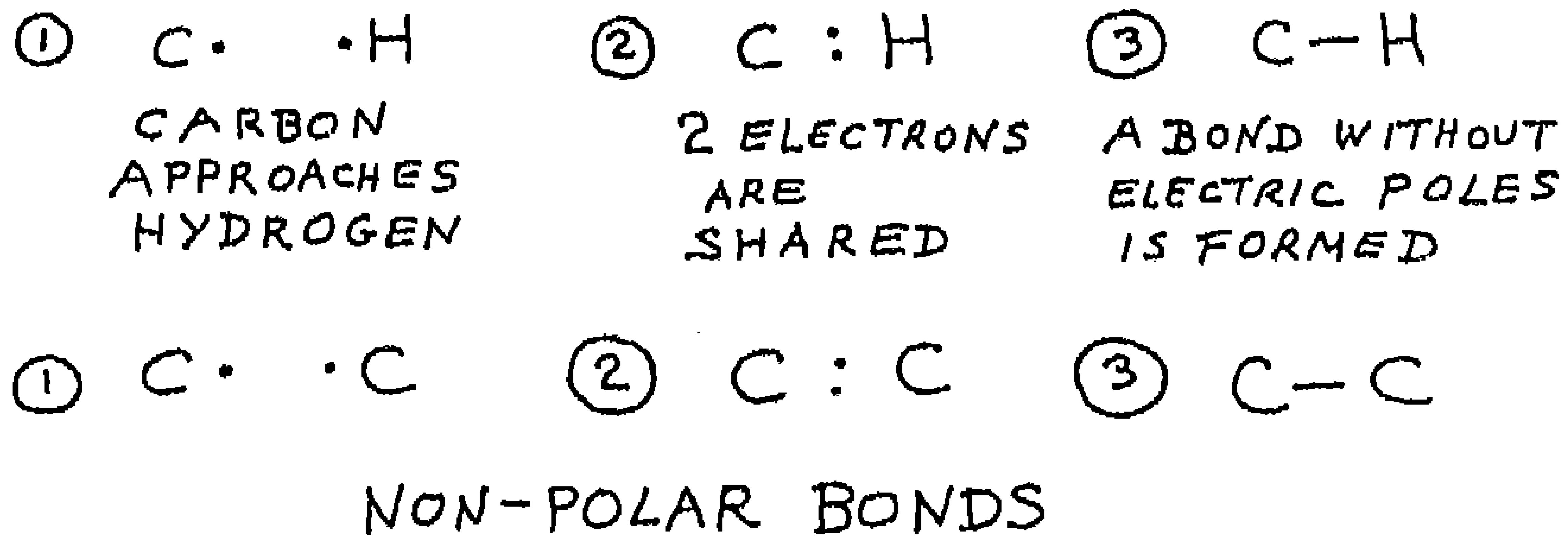
وقـد لوحـظ أن قـدم الحوائـط يـؤدى إلـى زيـادة إرتفـاع المـاء بهـا ، بالخاصة الشعرية ؛ حيث تزداد نفاذيتها بالقدم.

١-٦- الأسطح غير القطبية Hydrophobic surfaces :

تتركب العديد من المواد العضوية مثل : الزيـوت المعدنيـة Mineral oils والقـار Bitumen والدهـون Faits والراتنجـات الصناعيـة والطبيعيـة Synthetic & Natural resins بصفـــة أساسية مـــن ذرات الكربـون والهيدروجين . ولكل من الكربون والهيدروجين غالبا نفس السـالبية الكهربيـة Electro- negativity ولذلـك فإنهما يتقاسـمان الإلكترونـات ليكونـا روابـط تساهميه لكى تبدو العناصر ثابتة كيميائيا.

نفس الشـىء يحدث بين ذرات الكربـون حيث تتكـون روابـط غـير قطبية، ولايتكون مجال كهربى No electric pole is formed .

والشكل رقم (١٢) يوضح الروابط غير القطبية بين الكربون والهيدروجين ، وبين الكربون والكربون .



شكل رقم (١٢) يوضح

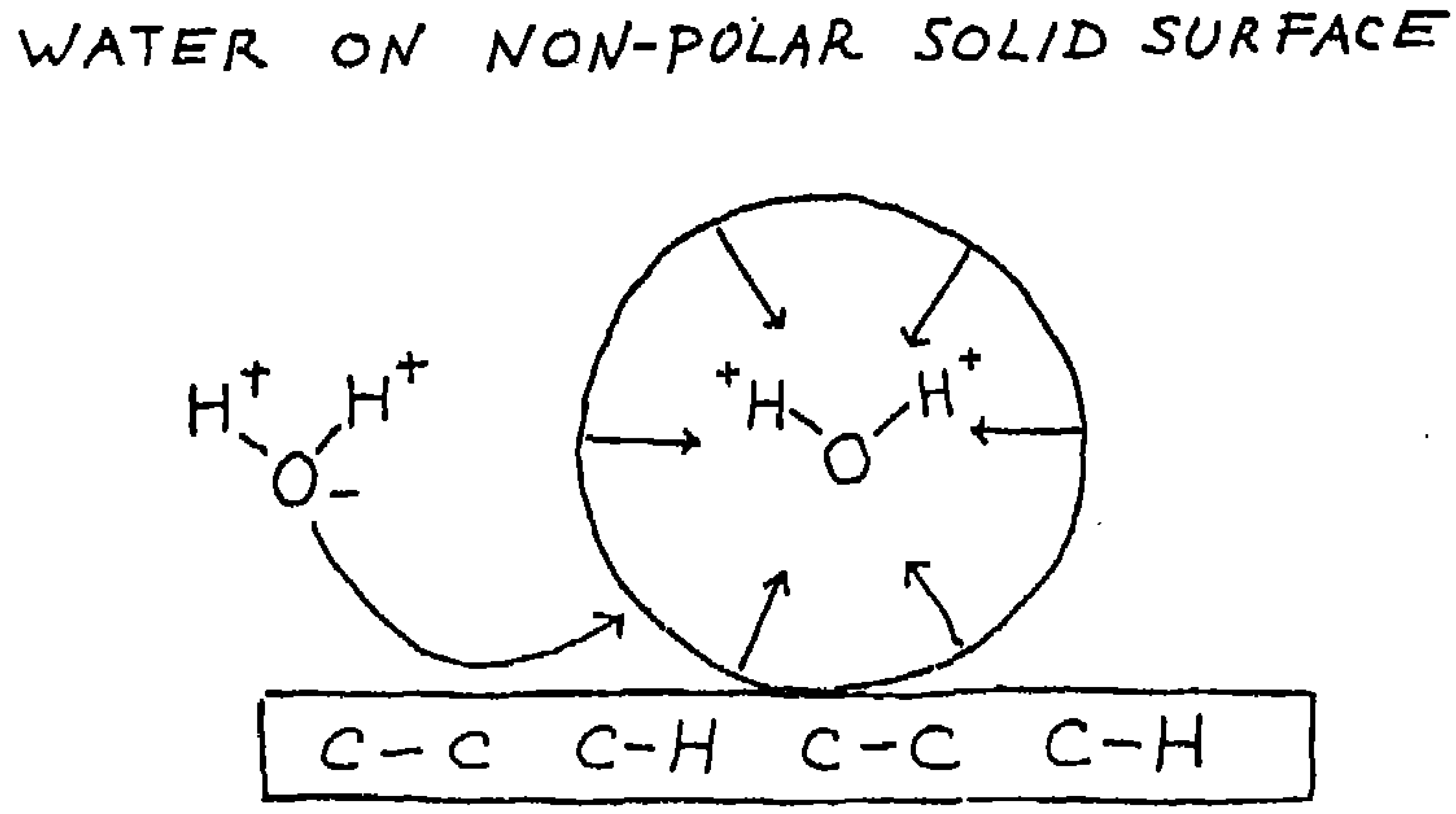
الروابط غير القطبية

والمواد العضوية تسمى : مواد غير قطبية Non - polar وهذه المواد لاتستطيع جذب جزئيات الماء لأنها لاتستطعي تكون روابط هيدروجينية معها .

كما أن جزيئات الماء على الأسطح غير القطبية تجذب بعضها الأخر لتكون قطرات ماء ، لاتنتشر على السطح، ولاتكون غشاء مائى يغطيه .

وبناء عليه فالمياه لاتبلل الأسطح غير القطبية ، إذ تكون زاوية التماس بين قطرات الماء والسطح غير القطبى كبيرة جدا .

انظر الشكل رقم (١٣).



شكل رقم (١٢) يوضح

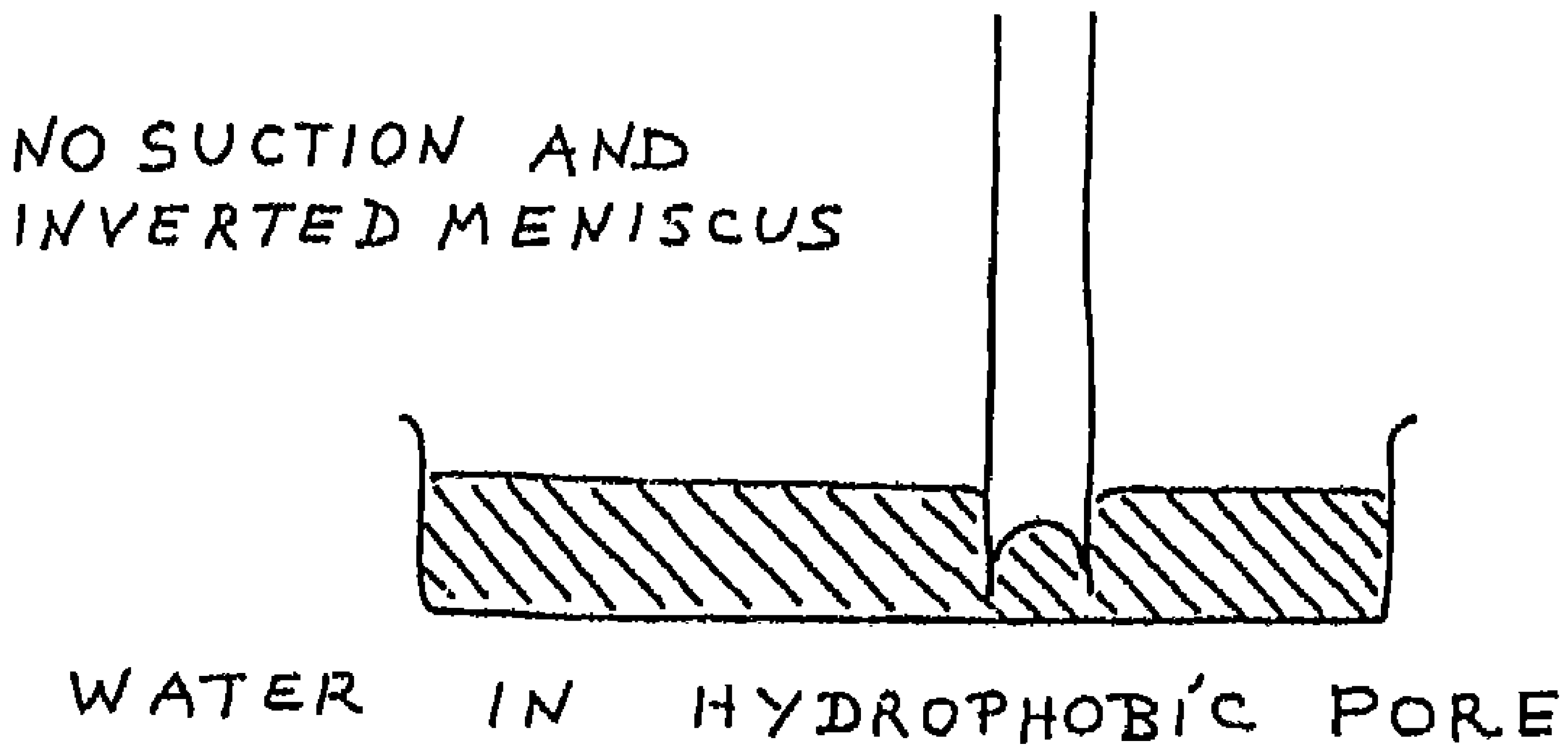
مظهر قطرة الماء على السطح الصلب غير القطبى

ويلاحظ أن المياه التى تظهر مطرودة على أسطح المواد غير القطبية، أكثر من تلك التى تبدو منجذبة اليها . لذلك تسمى هذه الأسطح .. أسطح طاردة للماء Hydrophobic أو كارهة له Water- Hating .

كما يلاحظ أنه فى مسام المواد الكارهة للماء لايوجد إمتصاص عن طريق الخاصة الشعرية ، كما لايوجد قوى تجاذب بين الماء ومسام الحوانط. وفى الواقع فإن الماء يظهر وكأنه يطرد من المسام.

وفى تجربة الارتفاع الشعرى نجد أن مستوى الماء داخل الانبوبه الشعريه ، أقل من مستوى الماء الحر خارج الأنبوبة . انظر الشكل رقم (١٤)

كما يظهر الماء داخل الانبوبة على شكل محدب An inverted meniscus .



شكل رقم (١٤)

مظهر الماء فى مسام المواد غير القطبية

الفصل الثانى

تلـــف المـــواد المســـامية

Deterioration of Porous materials

الضغط الميكانيكى

Mechanical stress

٢-١- سلوك المواد الهشه تحت إجهادات الضغط والشد

Stres- strain behaviour of brittle materials:

السلوك الميكانيكى للطوب والمون والحجر يمكن تعريفه بلفظ هش Brittle أو بتفصيل أكثر .... صلب وصلد وسهل الكسر . Hard, rigid and fragile

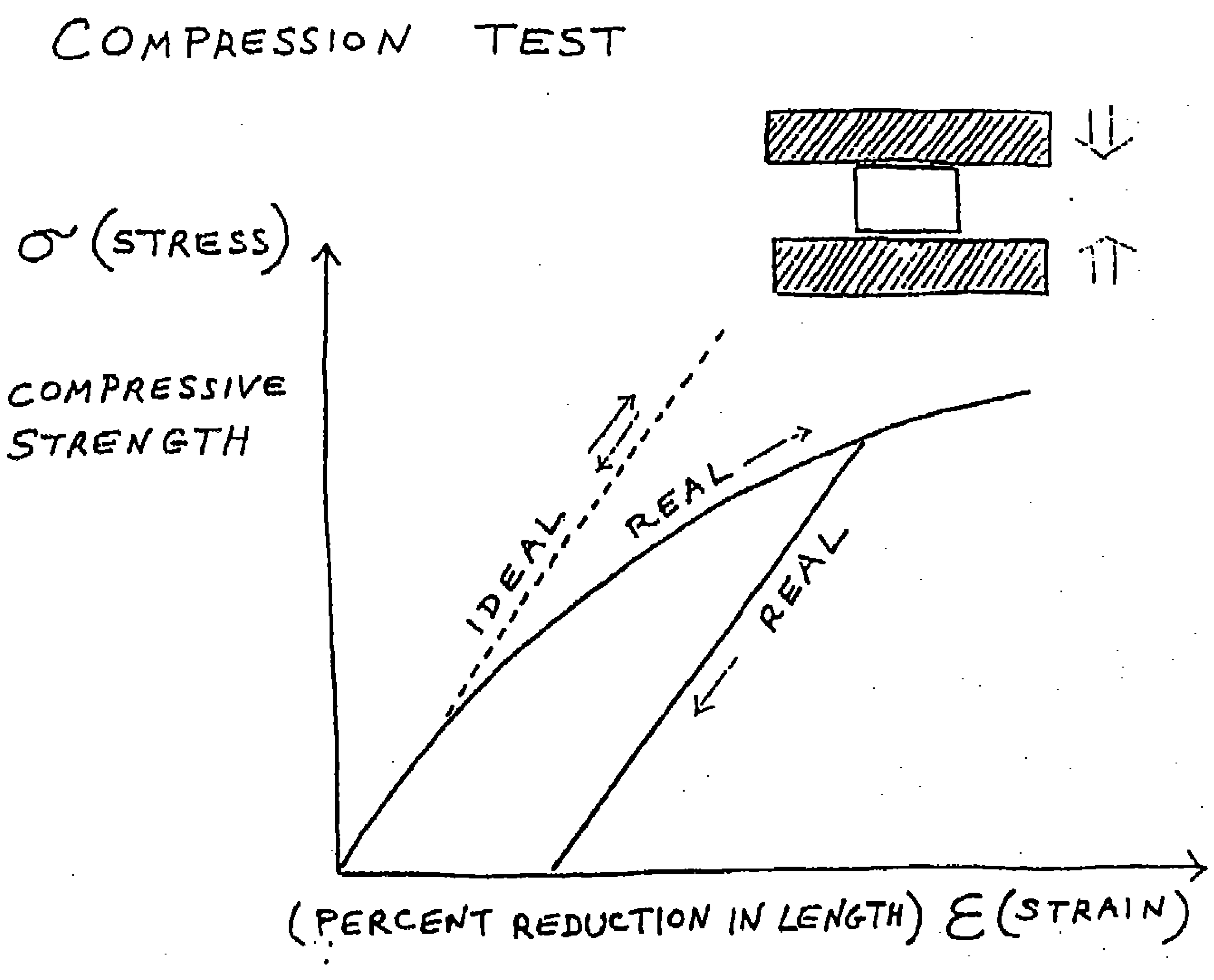
وغالبا مايتم دراسة السلوك الميكانيكى للمواد بواسطة اختبارات الشد والضغط Tension & Compression tests حيث تخضع العينات القياسية لزيادة فى الضغوط أو الأحمال، وكذلك تخضع لاختبارات الشد أو التغير فى الأبعاد.

وتسجل باستمرار هذه الاختبارات الإجهادات التى تتعرض لها العينات، والتى تؤدى إلى تكسيرها ، وتسمى مقاومة الضغط أو الشد لهذه المواد The tensile or compressive strength of the Material .

وفيما يلى رسم بيانى يوضح نتائج اختبارات الشد والضغط ، شكل رقم (١٥).

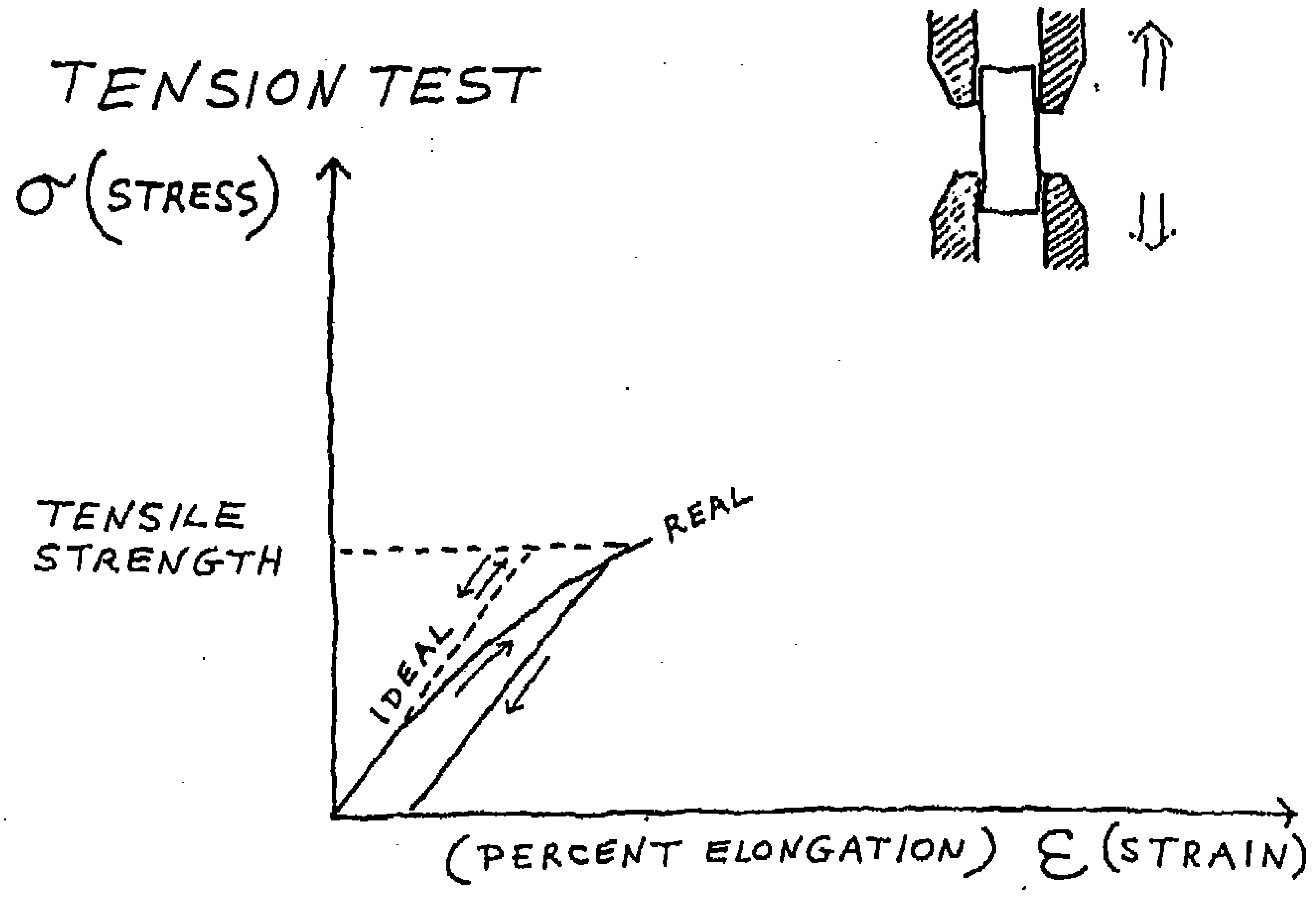
حيث يعبر محور الإحداثى الصادى (Y)عن الاجهادات أوالضغوط Stresses ومحور الاحداثى السينى (X) يعبر عن الشد Strain.

وفيما يلى أمثلة لمنحنيات نموذجية تمثل مقاومة الضغط والشد للمواد الهشة، شكل رقم (١٥)



شكل رقم (١٥/أ) يوضح

رسم بيانى لاختبارات الشد للمواد الهشه



شكل رقم (١٥/ب) يوضح

رسم بيانى لاختبارات الضغط للمواد الهشة

فى الحالة المثالية : المنحنى البيانى يمثل على هيئة خط مستقيم ويدل على أن قوة الشد تساوى قوة الضغط الموجهة للعينة . وفى هذه الحالة تكون النسبة بين قوة الشد وقوة الضغط ثابتة وهذا يعطينا فكرة عن قدرة المادة على مقاومة أى تغير فى أبعادها .

هذا الثبات لايعتمد على شكل العينة فحسب ، ولكن أيضا يعتمد على طبيعة المادة .. وهذا مايسمى المعامل Modulus أو معامل المرونة Elasticity modulus أو المعامل الشاب Young's modulus.

وتعتمد قيمة معامل المرونة على قوة الروابط التى تربط الذرات والبللورات معا داخل الماده .

أيضا فى الحالة المثالية ، عندما يتم إزالة الضغط فإن معامل الشد يجب أن يعود إلى نقطة الصفر، ويجب على المادة أن تعود إلى حالتها الأولى.

مثل هذا السلوك أو التصرف للمواد يسمى: السلوك المرن Elastic behaviour وتسمى هذا المواد مواد مرنه Elastic Materials .

ومن الرسم البياناني السابق يتضح نتيجة اختبار مواد بناء حقيقية ، حيث نجد أن الخط البيانى غير مستقيم، وهذا يوضح أن معامل المرونة Modulus لايكون ثابتا علىالأكثر.

أيضا قد يحدث بعض التشوه غير العكسى Irreversible deformation فى بعض المواد اللدنه بعد ازالة إجهادات الضغط من عليها، وهذا يرجع إلى حقيقة هامة هى : أن معظم مواد البناء تتكون من عناصر مختلفة ، لها خواص مختلفة أيضا Heterogeneous .

وقد تتكون هذه المواد من بللورات عديدة مختلفة أو مواد زجاجية Glasses تتماسك مع بعضها بواسطة روابط بقوى مختلفة ،وغالبا ماتبدأ بعض الروابط فى التكسر قبل الأخرى ، أو يحدث أن تتفكك بعض العناصر قبل الأخرى .. كل ذلك يسبب تشوهات غير عكسية فى مواد البناء.

كما أن هناك سبب آخر من أسباب الانحراف أو التغير فى السلوك المثالى Ideal behaviour لمود البناء ، عند تعرضها لاجهادات الضغط، وهذا يعتمد على حقيقة أن الضغط لايكون موزعا بانتظام أو بصورة متجانسة خلال العينة التى يتم اختبارها .

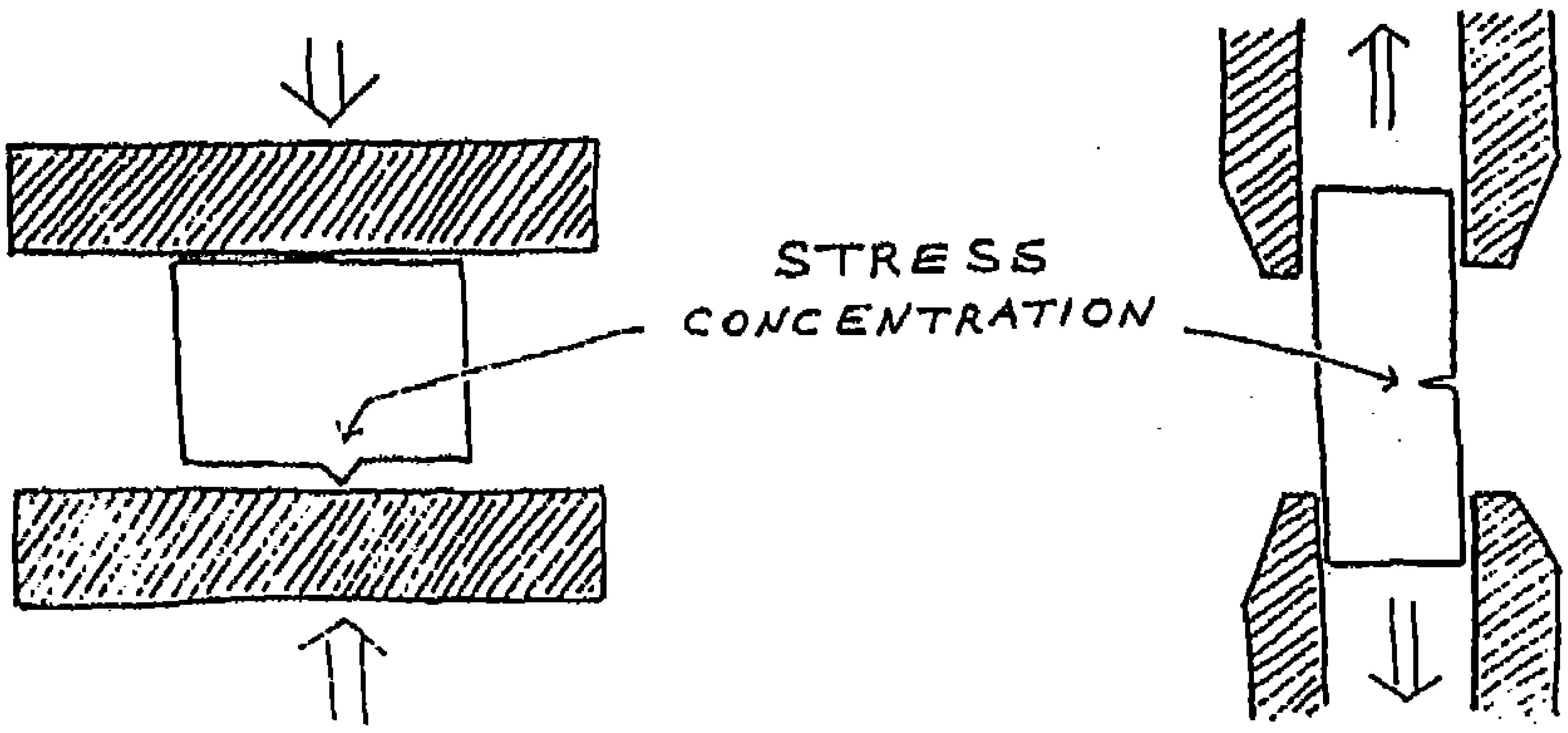
وبناء على ذلك يتركز الضغط على بعض المساحات دون الأخرى ، ونتيجة لذلك تتعرض بعض الأجزاء لضغوط أعلى من معدلاتها ، فى حين تتعرض أجزاء أخرى لضغوط أقل مما كان متوقعا لها ، فإذا كانت المادة متجانسة تماما ، فإن الأجزاء التى تتعرض لضغوط أعلى تبدأ فى التكسر قبل الأجزاء الأخرى .

وفيما يلى نذكر المناطق التى يتركز عليها الضغط :

١- الأسطح غير المنتظمة فى اختبارات الضغط .

٢- الشروخ السطحية فى اختبارات الشد .

يظهر ذلك فى الشكل رقم (١٦).



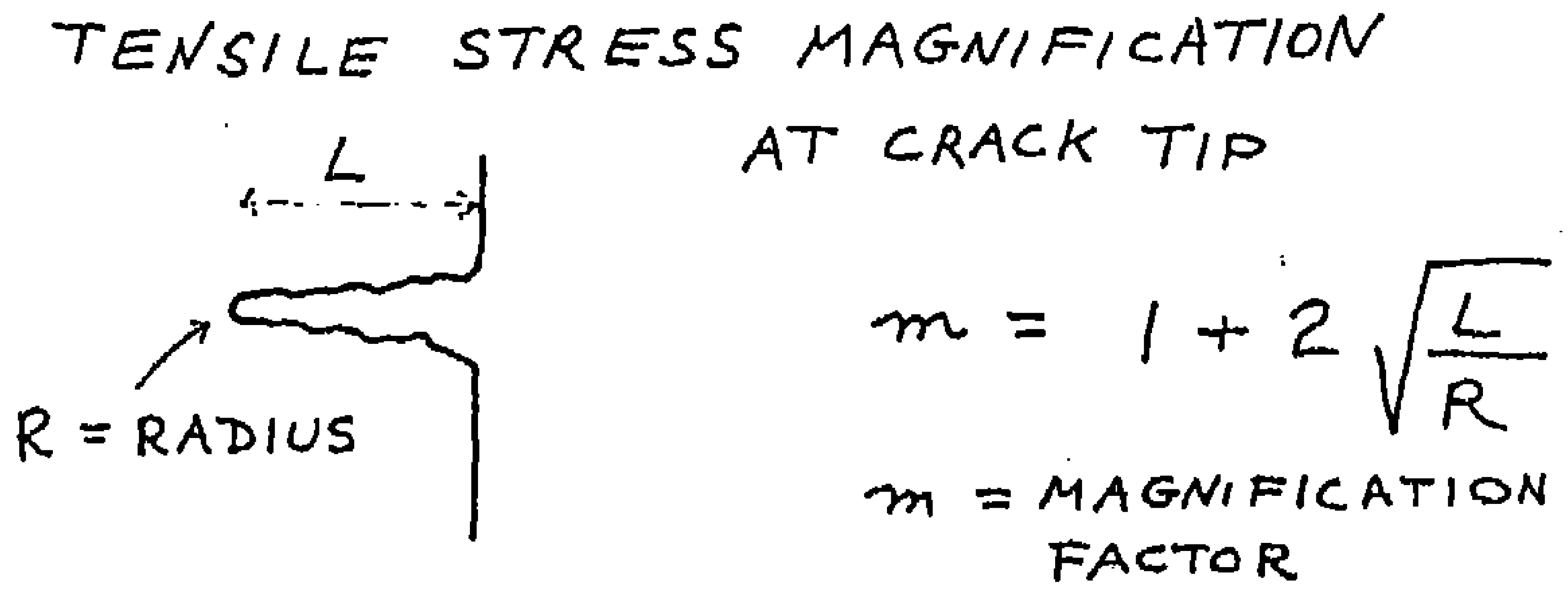
شكل رقم (١٦) يوضح

مناطق تركيز الضغوط فى العينات المختبرة

ومن المحتمل إلا تكون مواد البناء مواد لدنه ،وذلك لأنهايحدث بها تشوه غير عكسى إذا تعرضت لإجهادات الضغط ، ويطلق عليها مواد هشة Brittle ويحدث التشوه غير العكسى بصفة أساسية فى موادا لبناء الهشة بسبب الكسور الموضعيه Localized fractures مثل التشقق فى البللورات Cleavage in Crystals أو تكسر فى الزجاج Fracture in glass وهذه التشوهات لاتعود مرة ثانية بعد ازالة الضغط من عليها . المساحات المشوهة تكون أضعف من المساحات غير المشوهة ، وتحتوى علىالعديد من الشروخ الدقيقة .

وفى اختبارالشد لهذه المواد نجد أن تأثير تركيز الضغط فى مناطق التشوه - على الأخص - يكاد يكون ميتا Deadly .

وتبين معادلة تركيز اجهاد الشد أن عامل التعاظم أوالتكبير Mlagnification factor على قمة الشّرخ السطحى تتناسب مع الجذر التربيعى للنسبة بين عمق واتساع الشرخ Depth & width of the crack



شكل رقم (١٧) يوضح

معامل تعاظم ضغط الشد على قمة الشرخ

ومعادلة معامل التعاظم

وطبقا للمعادلة السابقة فإن الشرخ الدقيق أو الشعرى الموجود فى سطح المادة يمد قمته - قمة الشرخ - بإجهاد ضغط يتراوح بين ١٠-١٥٠ مره أعلى من نسبة إجهاد الشد.

وفى هذه الحالة فإن الشرخ يمتد بسهولة داخل المادة ويحدث الكسر طبقا لتعاظم قيمة الاجهاد . ويظهر التشوه فى هذه المواد بصورة أكثر من الذى يظهر بواسطة إجهادات الضغط فى اختبار الضغط .

هذا وتقاوم المواد الهشه إجهادات الضغط بصورة أفضل من إجهادات الشد، كما أن قوة مقاومة الشد فى هذه المواد تكون أقوى ، وذلك يعتمد على حالة سطح المادة .. مثل وجود شروخ من عدمه .

ويلاحظ أن مغامل مرونة مواد البناء الهشه لايمكن قياسه باستمرا ، وبالتالى يعتبر غير ثابت .

وعندما تتعرض المواد الهشه لإجهادات عاليه نسبيا دون أن تتكسر ، فإنه يحدث بها – كما سبق الذكر – تشوه دائم ، كما يظهر بها بعض الشروخ الدقيقة Microscopic cracks فى المناطق التى تتعرض لضغوط عاليه، أو تتعرض لإجهادات داخلية .

هذه الشروخ تسلك سلوك المسام – بصفة خاصة – عند تعاملهما مع ظاهرة الامتصاص– امتصاص الماء مثلا – وهذا يفسر العلاقة بين الاجهاد الميكانيكى ، وعمليات التلف التى تحدث بواسطة زيادة المياه فى مسام المواد الهشة.

وربما يساعد دور الاجهاد الميكانيكى فى عمليات تلف المواد الهشه ، فى تفسير التناقض الذى يقابلنا غالبا بين اختبارات التجوية المسرعة (المعجلة) Accelerated weathering Tests وسلوك المواد الحقيقى Actual Field behaviour عندما يتم تطبيق مواد العلاج واختبارها .

حيث أنه فى اختبارات التسريع أو التسارع Accelerating tests التى تتم فى المعمل ، العينات تدور بين درجات الحرارة القصوى التى تتطابق مع حالة الجو Field conditions ولكن طبقا لصغر أبعاد العينات وتحررها من ظاهرة الاحتباس Constraints فإن نتائج الإجهادات تكون أقل

من تلك التى تؤثر على قطعة من مادة معرضه من خلال قطاع فى بناء حقيقى.

كما تتأثر مقاومة الشد أيضا فى مواد البناء المساميه القطبية ، بوجود مياه داخل هذه المسام . إذ أن الماء يسبب إنقاص مقاومة الشد ، وذلك لأنه عال القطبية ، وتستطيع جزيئاته بكل سهولة تكوين روابط على الأسطح الجديدة فى الشروخ الحديثة Newly opened cracks .

أما المواد غير القطبية- وبنفس البرهان السابق - تؤدى إلى إنقاص مقاومة الشد ، ويمكن توضيح ذلك عن طريق الإختبارات ،حيث ثبت أن شمع البرافين Paraffin wax على الرغم من أنه ليس له مقاومة شد تذكر ، فإنه ربما يزيد مقاومة شد الحجر الجيرى لأكثر من ٤٠٠٪.

٢-٢ الضغط الخارجى External stress:

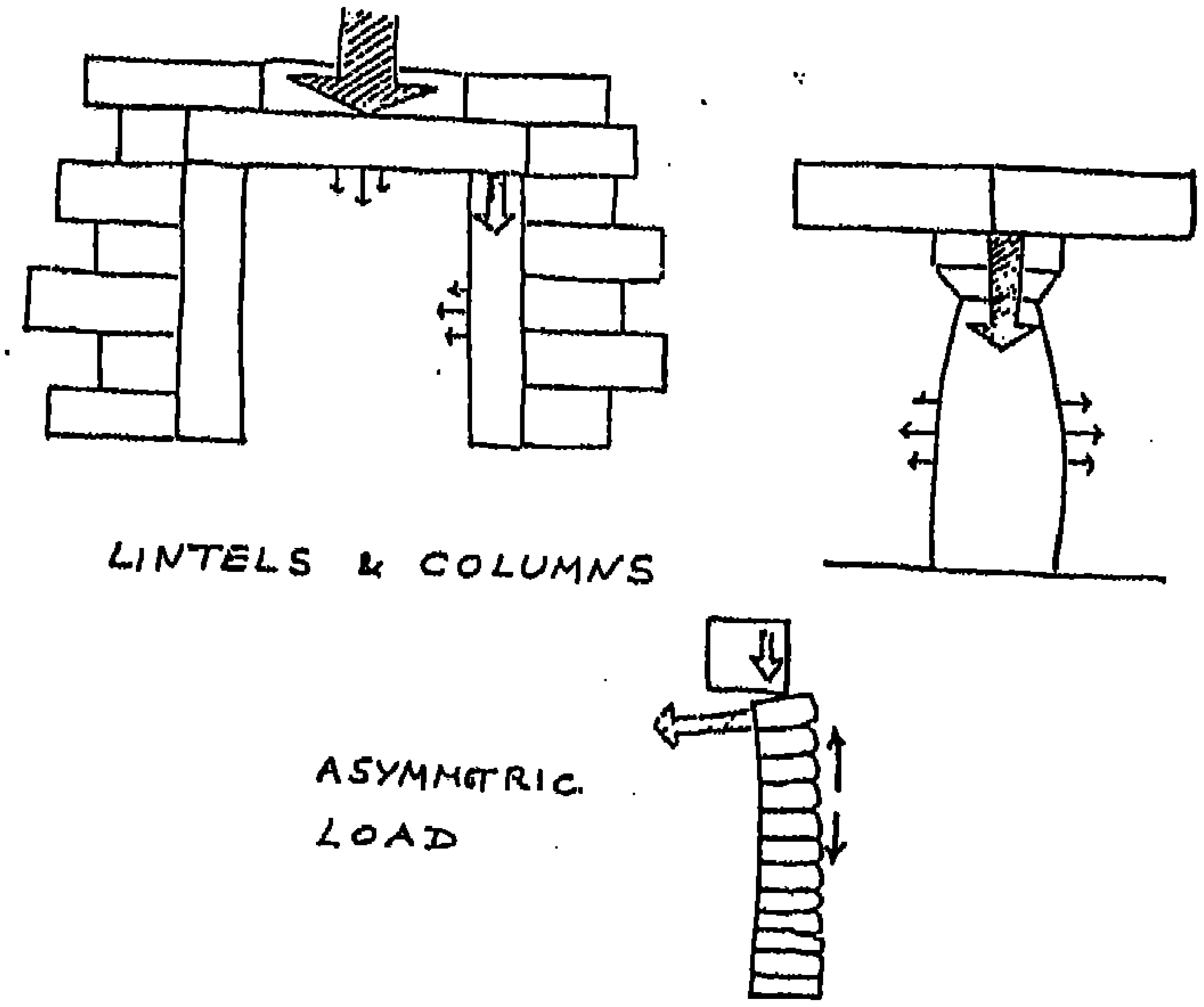
الضغوط الميكانيكية التى تتعرض لها مواد البناء، فى مكانها، تؤدى إلى تدهورها ، خاصة ضغوط الشدTensile stresses التى تؤثر فىالمواد الهشة ، ذات المقاومه الضعيفة .

وإذا لم تحدث هذه الضغوط كسور كبيرة Macroscopic breaking فإنها تسبب تشوهات دائمة، أو ثابته Permanent deformation وشروخ دقيقة Microscopic cracks يعجل من حدوثها نسب التجوية التى تعرضت لها هذه المواد.

وفيما يلى نذكر العديد من الميكانيكيات التى تؤدى إلى ضغوط محلية عالية Localized High Stresses فى مواد البناء.

- الحمل **Load:**

فى أى مبنى توجد بعض الأجزاء التى تكون عرضه لضغوط أعلى من الأجزاء الأخرى ، على سبيل المثال : الأعمدة Columns والعتب Lintels والدعامات Pillars . انظر الشكل رقم (١٨)



شكل رقم (١٨) يوضح

الضغوط التى تتعرض لهما الأعمدة والأعتاب

فى الغالب يكون الهدف من وجود ضغوط شد قليلة Minimize tensile stresses أنها تسمح لمواد البناء بالتصرف تحت ظروف اجهادات الضغط الرئيسية أو الحمل Mainly compression or load.

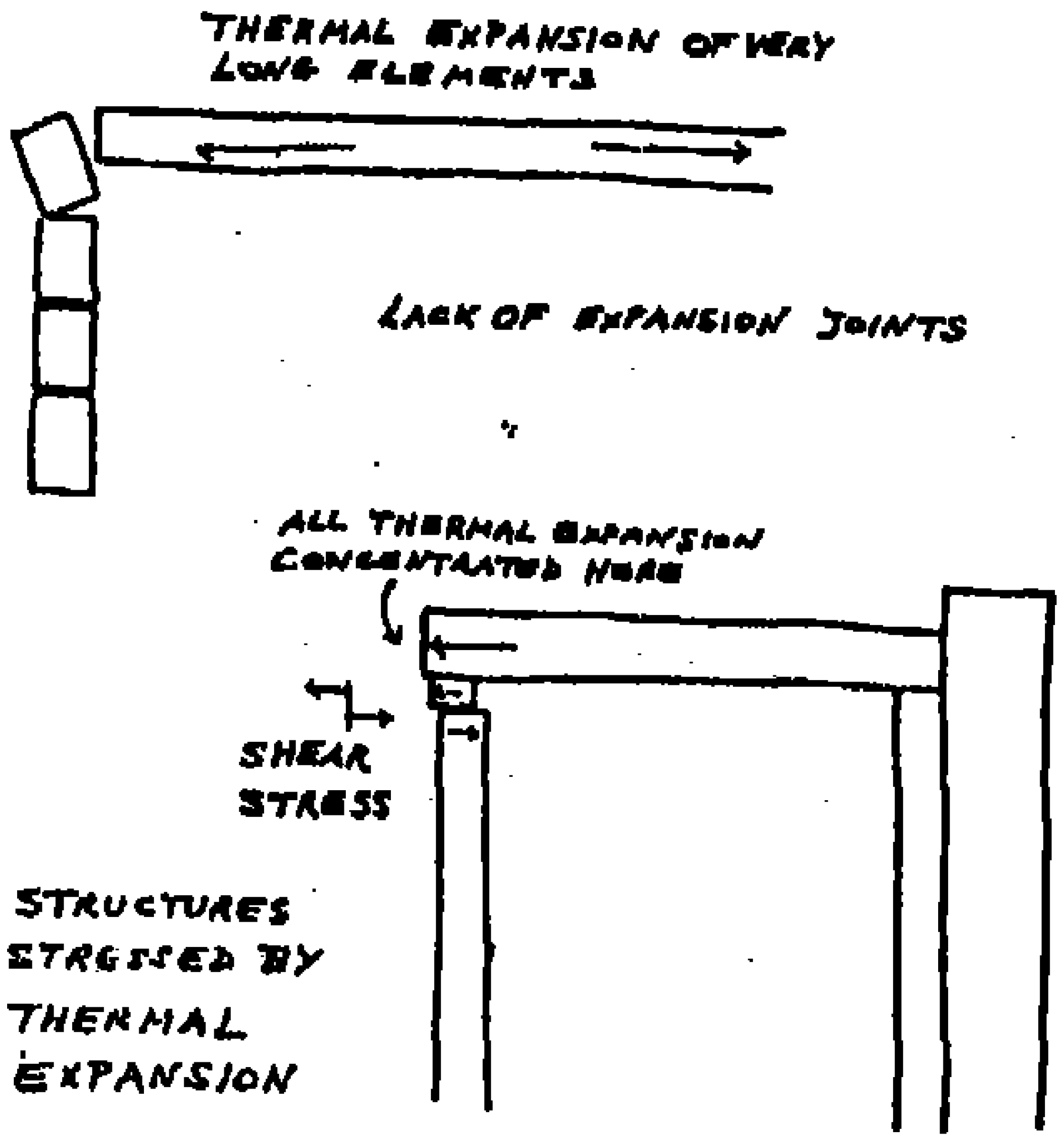
ومهما يكن فإن نظم الأسقف والأحمال غير المتماثلة ، وقوى الدفع الجانبية Side thrusts الخ تسبب بعض ضغوط شد Some tensile stesses، هذه الضغوط – فى الغالب – تلاحظ فى المبانى ، بصفة خاصة ،

فى الأجزاء التى تعرضت لقوى ضغط تحت تأثير عمليات التحلل السريعة. انظر الشكل السابق رقم (١٨).

- التمدد الحرارى **Thermal expansion:**

تخضع مواد البناء يوميا وموسميا لدورات الحرارة " Temperature cycles " أى أن هذه المواد تتعرض للتغير فى درجات الحرارة يوميا وموسميا" مثل هذه الدورات تكون مصادر هامة للضغط ، لأنهما تؤدى إلى تمدد Expand هذه المواد عند ارتفاع درجة الحرارة . وانكماشها Contract عند انخفاضها . انظر الشكر قم (١٩)

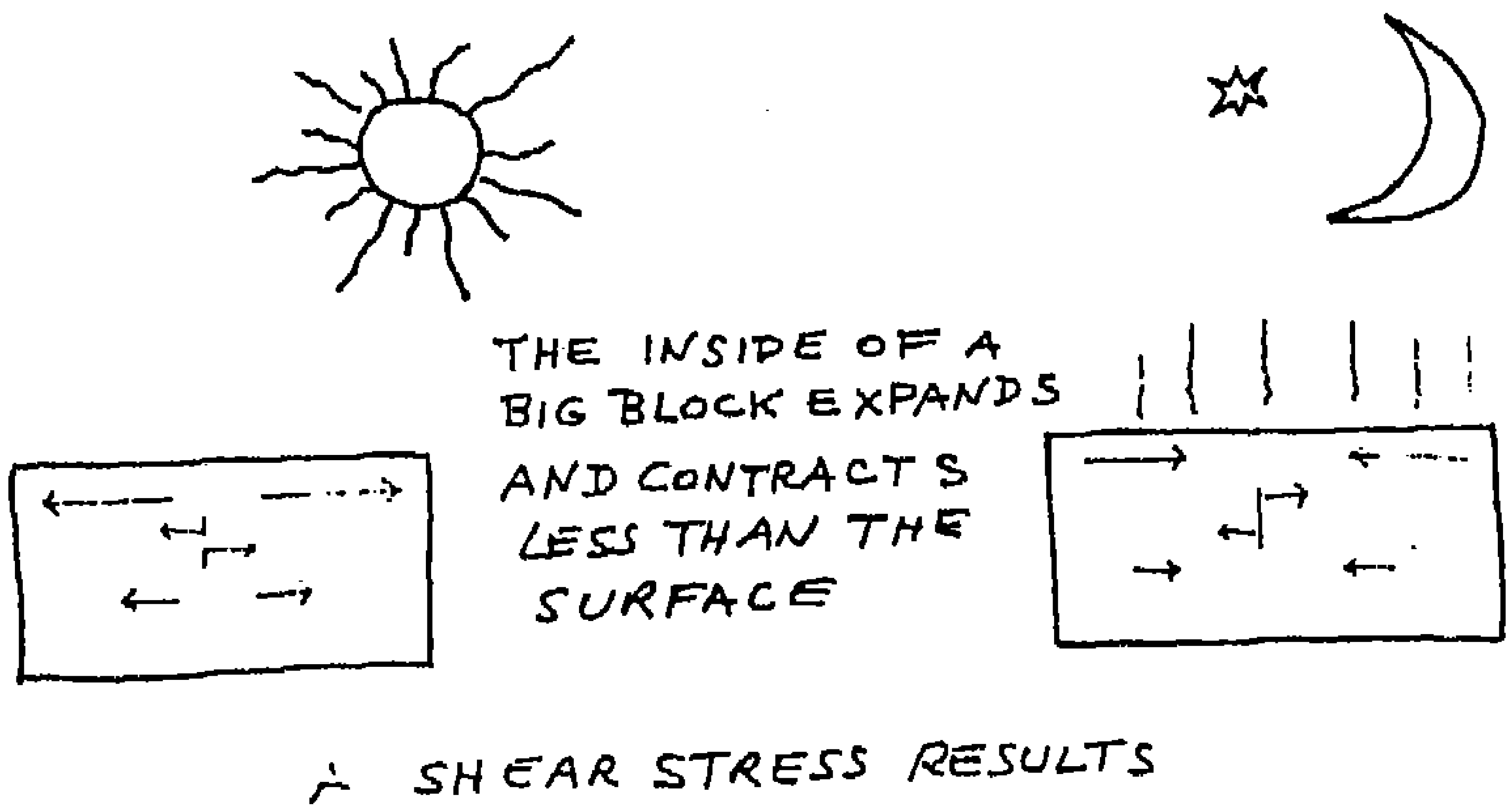
ويصبح التغير فى أبعاد مواد البناء، نتيجة طبيعية لحالات التمدد والانكماش المستمرة . ويزداد التغير نسبيا فى اتجاه الطول ، عندما يكون البناء عاليا ، وذلك لأن القطع الطويلة تكون عرضه لضغوط أكثر من القطع القصيرة . انظر الشكل رقم (١٩)



شكل رقم (١٩) يوضح
الضغوط الناتجة عن التمدد الحرارى لمواد البناء

وتزداد الضغوط داخل أجزاء المواد المتجانسة Homogeneous بين السطح الخارجى المعرض مباشرة ، للبيئة، ويتعرض لتاثير التغير الكبير فى درجات الحرارة ، وبين الأجزاء الداخلية، التى تبعد عن المؤثرات الخارجية المباشرة ، وتكون درجة حرارتها أقل من درجة حرارة السطح الخارجى.

وفى المناطق الصحراوية ، وعندما يكون الجو صافيا، فإن التغير فى معدلات درجات الحرارة يكون كبيرا جدا بين الليل والنهار ، حيث تبرد الأرض فى الليل عن طريق اتجاه الاشعاعات Radiation نحو السماء المظلمة The black sky . انظر الشكل رقم (٢٠)



شكل رقم (٢٠) يوضح

التمدد والانكماش فى مواد البناء نتيجة التغير فى معدلات الحرارة

ويتكرر حدوث ظاهرة التمدد والانكماش المعروفة بالتمدد الحرارى، فى المبانى، حيث تتسبب فى تحريك التمدد الناتج عن الحرارة فى عناصر

المبنى، الذى يحدث بدوره ذبذبات داخل هذه العناصر. وبما أن هذه العناصر مقيدة فى البناء ، فإن الذبذبات تسبب إجهادات ينتج عنها تشويه دائم أو شقوق فى العناصر المعمارية .

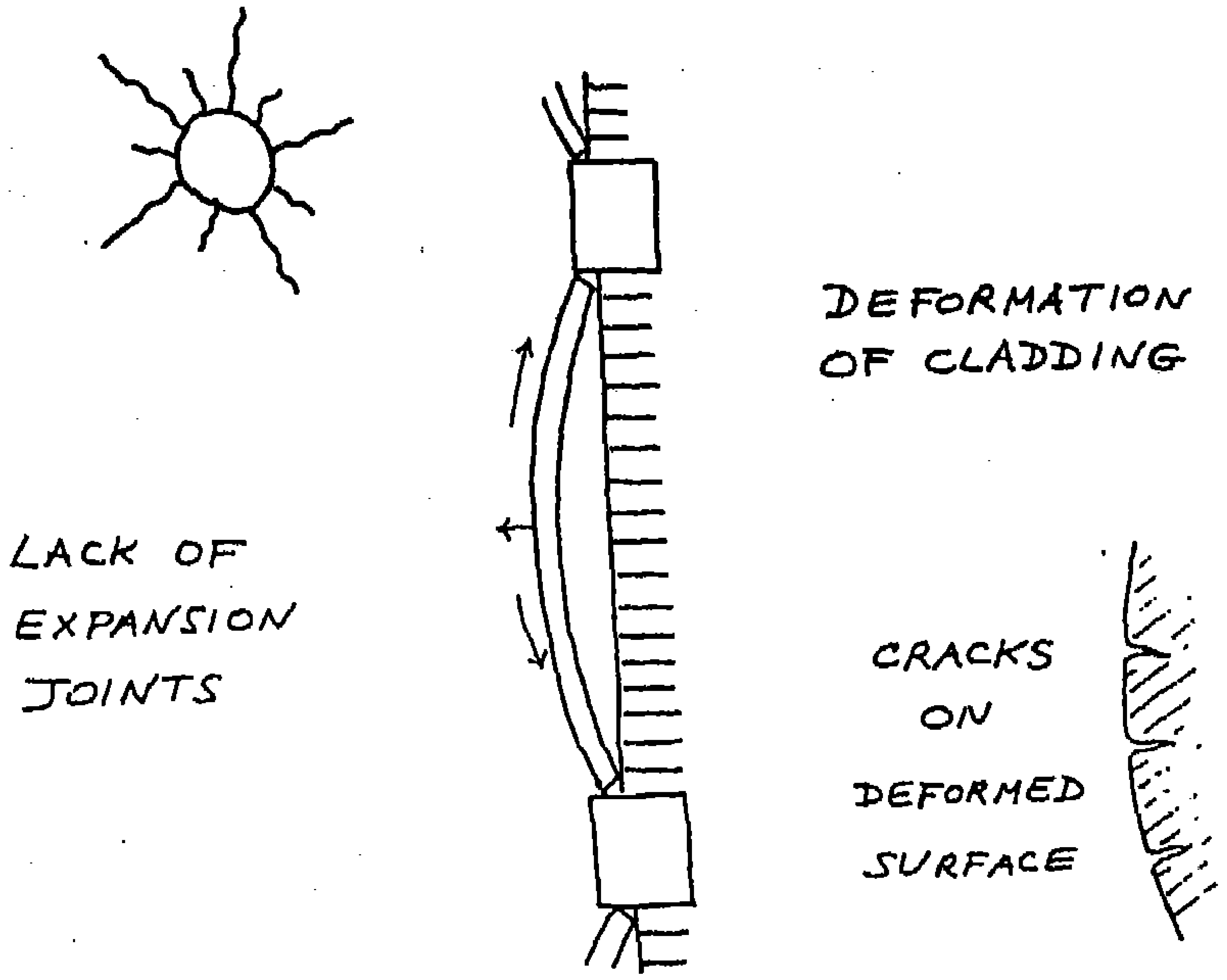
وعندما تظهر الشروخ أو الشقوق فى العناصر المعماريه غالبا لاتعود إلى حالتها الطبيعية مرة أخرى ، بصورة كاملة وذلك لأن حطام مواد البناء يسقط داخل هذه الشروخ ويؤدى إلى توسعتها تدريجيا أكثر فأكثر.

ومن الممكن أن تكون مواد الكسوة الخارجية محل ضغوط كبيرة إذا لم يراع المصمم ، أو يضع فى حسبانه التمدد الحرارى للمواد التى تستخدم فى تنفيذها .

فمثلا : الكسوه الحجريه تتمدد تمددا محدودا Restricted expansion بسبب الحرارة، هذا التمدد يسبب انبعاج ينتج عنه شروخ دقيقة، وتشوهات غير عكسيه فى السطح الخارجى للكسوه . انظر شكل (٢١).

مع ملاحظة أن البلاطات العديدة إذا جمعت مع بعضها فإنها تتصرف وكأنها قطعة واحده.

ويمكن حساب نسبة التمدد بسهولة ، ولو إفترضنا وجود بلاطه طولها ٦ م ، تعرضت لحرارة أعلى من الحرارة الجوية بمقدار ١٠ °م، فإنها سوف تتبعج بنسبة ٢٥مم، بمعدل تغير فى الطول حوالى ٠,٢٥ مم.



شكل رقم (٢١) يوضح

التشوهات التى تحدث فى طبقات الكسوة

الخارجية بسبب التمدد الحرارى

- **تحلل الرخام Deterioration of Marble:**

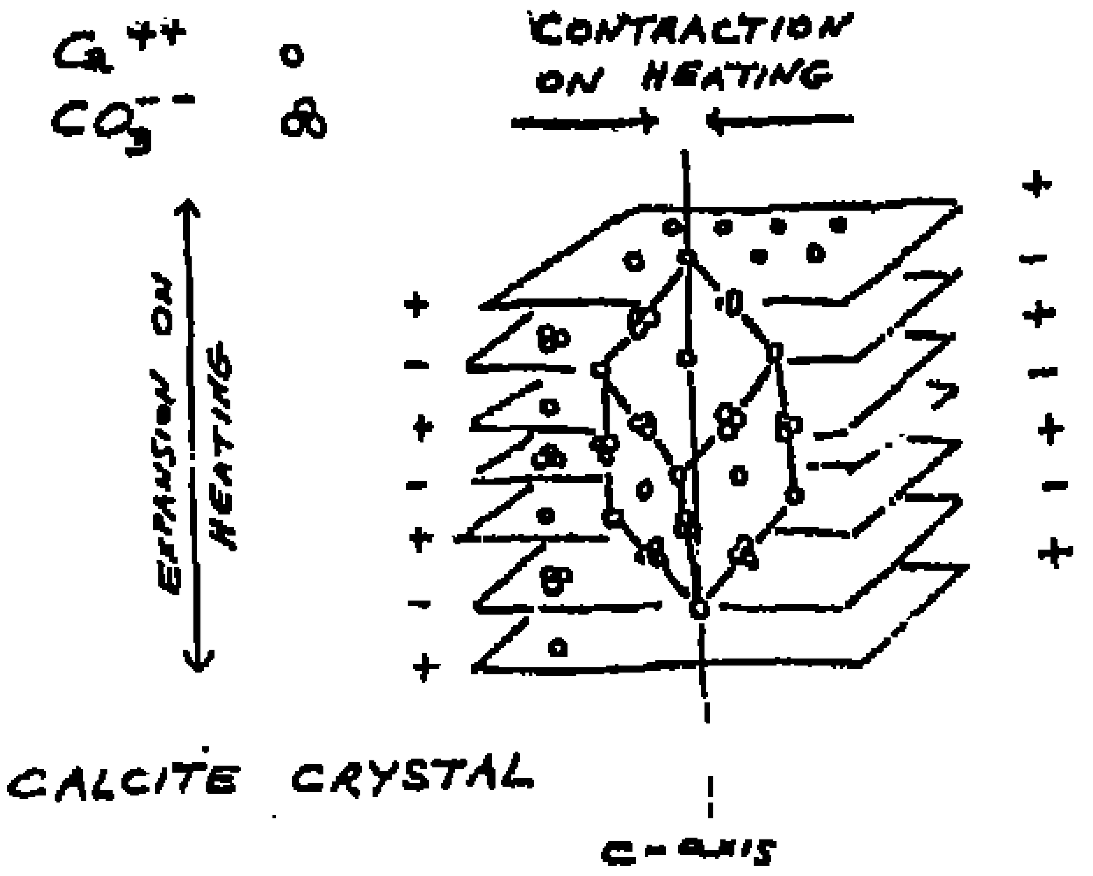
يحتوى الرخام على بللورات كبيرة من الكالسيت (كربونات الكالسيوم) ويتغير معامل التمدد الحرارى للكالسيت طبقا لاتجاه هذه البللورات ، أو مظهرها الخارجي .

وقد ثبت أن معامل التمدد الحرارى لبلوره الكالسيت

* $25\text{-}10^{-6}$ m/m°C along the C.axis
* -5.10^{-6} m/m°C across the C. Axis

وفيما يلى شكل يوضح تأثير زيادة درجة الحرارة على بللورة الرخام، حيث تتمدد البللوره فعليا فى اتجاه المحور (C) أى فى الاتجاه الرأسى أو

الطولى ، وتنكمش فى الاتجاه الأفقى أو العرضى The transversal direction. انظر الشكل رقم (٢٢)



شكل رقم (٢٢) يوضح
تمدد وإنكماش بللوره رخام بواسطة
التغير فى معدلات الحرارة

ويسبب التحرك الناتج عن التمدد والانكماش فى الرخام ضغوطا بين كل بللورتين تعرضتا لظروف التمدد " أى تعرضتا لزيادة الحرارة ".

وقد يحد نفس الشيء بسبب إتصال كل بللوره بالأخرى داخل معدن الكالسيت نفسه .

وعموما فإن الضغوط الحرارية The thermal stresses تحدث تفكك أو تصفح Cleavage داخلى فى البللورات."أى تنفصل البللورات عن بعضها".

لهذا السبب نجد أن الرخام تزداد مساميته بزيادة وقت تعرضه للحرارة فى البيئة المحيطة .

ونلاحظ أن شكل الشروخ التى تحدث نتيجة التمدد الحرارى، يوضح شكل وكيفية حركة المياه عند زيادتها داخل هذه الشروخ ، مما ينذر بحدوث عمليات تحلل فى الأجزاء الداخلية للمواد .

- التمدد الحرارى التفاضلى Differential thermal expansion:

تختلف بعض مواد البناء بشدة عن المواد الأخرى فى معامل التمدد الحرارى Expansion coefficient.

وفيما يلى جدول يوضح حركة تقريبية حرة Unrestrained movement فى قطع من مواد مختلفة ، عند زيادة درجة الحرارة ٣٠ °م." بمعنى أن هذا الجدول يوضح التمدد الطولى الذى يحدث فى بعض مواد البناء نتيجة تعرضها لإرتفاع فى درجة الحرارة ".

جدول رقم (١) يوضح

مقدار التمدد الحرارة لبعض مواد البناء

Materials	Thermal Expansion
Marble	0.15 mm
Cement concrete	0.3 ÷ 0.4 mm
Limestone	0.15 mm
Granite	0.25 mm
Lime - sand mortar	0.3 ÷ 0.4 mm
Brick and terracotta	0.15 ÷ 0.20 mm
Iron	0.3mm
Glass	0.3 mm
Aluminium	0.7 mm
Thermo-plastic resins	1.5 ÷ 3.0 mm
Reinforced plastics	0.7 mm

ويجب الوضع فى الاعتبار أن معاملات التمدد الحرارى للحديد والخرسانة تقريبا ضعف معاملات تمدد الطوب والحجر الجيرى والحجر الرملى ومونة الجير.

مثل هذا الاعتبار هام جدا خاصة عندما يتم وضع مخطط إنشائى لتسليح المبانى القديمة باستخدام مواد مثل : الحديد والخرسانة .

إذ أنه عندما يتصل هذين العنصرين بمواد البناء ويتجهان نحو التمدد أو الانكماش بطريقة أو بأخرى ، فإن الاجهادات سوف تزداد فى كل منهما . لكن المادة الضعيفة سوف تتكسر أو تتشوه بسرعة أكثر ،ويحدث فيهما شروخ ميكروسكوبية .

وفى الغالب فإن عناصر البناء القديم القريبة من المنشآت المسلحة الحديثة تتعرض للتلف المتزايد باستمرار، ويظهر بها شروخ دقيقة Micro cracks.

وفيما يلى قائمة بمعاملات التمدد الحرارى للمواد الشائعة الاستعمال فى المبانى .

جدول رقم (٢)

معامل التمدد الحرارى لبعض مواد البناء

Concrete	10.10^{-6}	
Concrete with gravel	$9 \div 12.10^{-6}$	
Concrete with expanded clay	$7 \div 9.10^{-6}$	
Cement mortar	$10 \div 11.10^{-6}$	
Lime mortar	$8 \div 10.10^{-6}$	
Lime stone	7.10^{-6}	
Brick	5.10^{-6}	
Granite	8.10^{-6}	
Glass (10% alkali)	$4.8.10^{-6}$	
Iron	$11.5.10^{-6}$	
Steel	$10 \div 14.10^{-6}$	
Copper	$16.8.10^{-6}$	
Aluminium	$23.8.10^{-6}$	
Lead	$29.4, 10^{-6}$	

Pine, along fibres	5.4. 10^{-6}	across fibres 34.1. 10^{-6}
Oak, along fibres	3.4. 10^{-6}	across fibres 28.4. 10^{-6}
Fir		across fibres 58.4. 10^{-6}
Wood Laminates	10÷40. 10^{-6}	
Polyester resins	100÷150.10^{-6}	
Glass-polyester laminates	35 ÷45. 10^{-6}	
Epoxy resins	60..10^{-6}	
Epoxy with silica filler (1:5)	20.10^{-6}	
Acrylic resins	70 ÷80. 10^{-6}	
PVC	70÷80. 10^{-6}	
Nylon 66	70÷100. 10^{-6}	

- التمدد بسبب الرطوبة Expansion due to Moisture:

تتمدد معظم مواد البناء عندما تمتص Absorb الماء وتتكمش عندما تطردها Release it.

وفى الغالب فإن معاملات تمدد هذه المواد تكون صغيرة إلى حد ما وقد تتشابك معها الإجهادات الناتجة عنهما ، لذلك فمن المتوقع إهمال هذه الاجهادات عند حدوثها بسبب التغيرات فى درجة الحرارة Temperature variations.

ومن المهم جدا أن نضع فى الاعتبار التمدد الذى يحدث بسبب الرطوبة ، عند فحص المواد التى تحتوى على طفله Clay.

مثال ذلك : بعض أنواع الحجر الرملى الواسع الاستخدام فى البناء ، كالمولاس السويسرى The swiss Molasses الذى يتمدد عند بلله بنفس مقدار التمدد الذى يحدث عند زيادة درجة الحرارة التى يتعرض لها الأكثر من ٥٠ °م.

وفى مثل هذه الحالة فإن التمدد بسبب الرطوية يسبب إجهادات كبيرة ، تحدث بين سطح الحجر والأجزاء الداخلية - وبصفة خاصة - عند تبليل هذا السطح بالماء.

- الضغط الذى يحدث بسبب تقنيات العمل

Stress caused by working techniques

ربما يحدث التلف الميكانيكى لأسطح مواد البناء أثناء تجهيز هذه المواد للاستخدام، أو بسبب التنظيف الميكانيكى.

وذلك يحدث «بصفة خاصة» فى الأحجار التى يتم الحصول عليها من المحاجر، بواسطة التفجير بالديناميت ، حيث تتصدع أسطح هذه الأحجار.

كما أن عمليات النحت والتشكيل باستخدام الشواكيش أو السكاكين أو غيرهم تؤدى إلى نفس النتيجة .

أيضا عمليات التنظيف باستخدام Grit blasting أو Scratch brushing ربما تسبب أضرار ميكانيكية على الأسطح ، عن طريق زيادة عدد الشروخ الميكروسكوبية والتى تؤدى دائما إلى تعجيل معدلات التجوية.

على العكس من ذلك يجب معرفة أن الصقل الجيد لأسطح الأحجار، أثناء إعدادها للاستخدام فى أعمال البناء ، يمكن أن يزيل كل عيوب المادة، وذلك لأن هذا العمل يؤدى إلى إعطاء المادة سطح أمامى أملس ناعم يقاوم عمليات التجوية ، ويصبح أكثر مقاومة لعمليات التلف .

ويلاحظ أنه فى معظم مواد البناء تعتمد معدلات التلف الذى يحدث بها على حالة أسطحها.

٢-٣- الضغط الداخلي Internal stress:

من الممكن أن ترتفع الضغوط داخل مسام المواد المنفذة ، وذلك عندما تتكون داخل هذه المسام بللورات ثلجية في حالة وجود الصقيع Frost، أو عندما تتبخر المياه تاركة بللورات لمواد ذائبة - مثل : بللورات الملح Salt crystallization داخل مسام المواد .

في كلتا الحالتين فإن نمو البللورات داخل مسام المواد يؤدي إلى وجود ضغوط داخلية " قد تتساوى مع مقاومة الضغط في المواد التي تحيط بها " ، إلا أن زيادة ضغوط النمو البللوري - في الغالب - يؤدي إلى تفتت هذه المواد .

ومهما يكن .. فإنه بالقرب من السطح ، يتعرض قطاع رقيق من المادة - طبقة رقيقة - لقوى دفع من الداخل ، قد تساوي قوى الشد التي تقتلعها من الخارج ، وربما يسهل ذلك من تشقق أو تفتت أو كسر المواد الهشه في هذه الطبقة أو القطاع .

الميكانيكيات التي تحدث بواسطتها الضغوط الداخلية يمكن مناقشتها أو وضعها في الاعتبار ، خاصة بعد ماتوفرت لدينا معلومات كافية ومتاحة لتفسير هذه الميكانيكيات، إلا أن ذلك لايمنع أننا مازلنا في حاجة إلى أبحاث أخرى .

الصقيع Frost:

يوجد ميكانيكيتان أساسيتان للضغوط الداخلية الحاصلة بسبب الصقيع يمكن شرحهما فيما يلي :

الميكانيكية الأولى : ميكانيكية دفع الثلج أو الصقيع Frost heave:

هذه الميكانيكية تعطينا فكرة عامة عن بللورات الثلج Ice Crystals أو عدسات الثلج Ice Lenses التى تنمو فىالفراغات الواسعة نسبيا ، لكنها لاتستطيع النمو فى المسام الضيقة إلا تحت ضغط .

والماء الموجود داخل المسام الصغيرة يمد البللورات بمصدر دائم للمياه عن طريق الانتشار Diffusion

الميكانيكية الثانية : الاحتبال أو الإمتلاء بالماء Water interapment:

تعتمد هذه الميكانيكية – فى الأصل – على زيادة الحجم الذى يتزامن مع عملية التجمد .

وفى هذا النموذج ، يكون الماء الذى يظل على حالة السيوله معوقا لعملية التجمد فى مناطق التجمد ، حيث لايجد مكانا يسمح له بالتجمد عندما يريد ذلك . وتظل المياه المتبقية متحركة فى حالة السيوله ، متنقلة من مكان لآخر إلى أن تبدأ فعلا فى التجمد، لذلك ينشأ الضغط عندما يتجمد الماء المتبقى فعليا . انظر الشكل رقم (٢٣).

– تبلور الأملاح Salt crystallization:

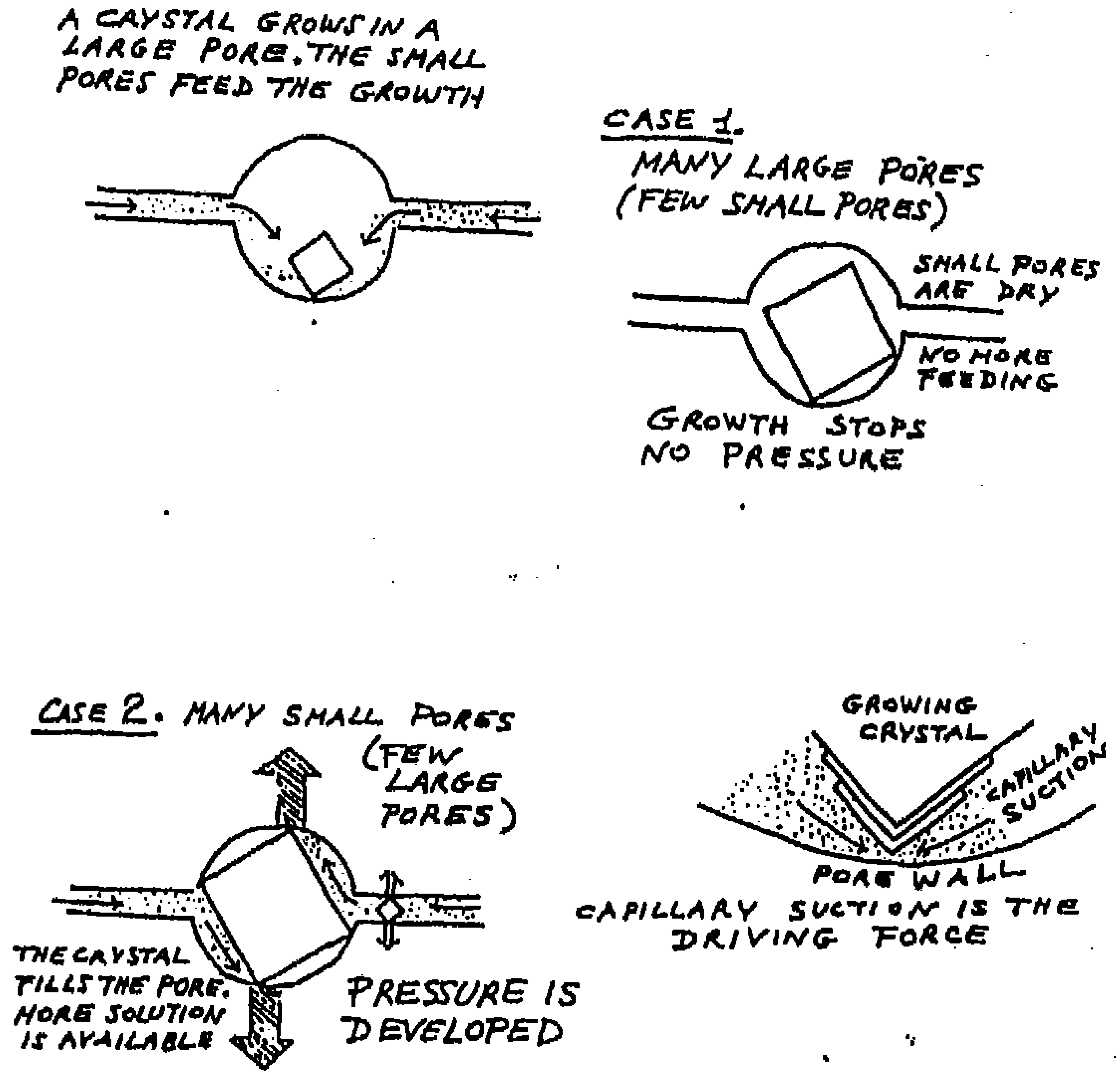
فى هذه الحالة – أيضا – يحدث نموذجين لميكانيكا التلف .

النموذج الأول : نموذج الدفع A Heave Model:

هذا النموذج يشبه نموذج دفع الثلج ، ويعتمد على نمو بللورات الملح فى المسام الواسعة ، أو الشروخ ، عندما تمتص هذه البللورات المحلول المائى من المسام الصغيرة . ولو استمر مص الماء متاحا من المسام

الصغيرة ، ستمتلىء المسام الواسعة بالبللورات مسببة ضغوط داخلية متلفة فى المواد .

وفى هذه الحالة – أيضا – تحدد النسبه بين حجم المسام الضيقة والمسام الواسعة ، مقدار الضغوط ، التى تزداد نسبتها غالبا فى المسام الضيقة – الدقيقة – عنها فى المسام الواسعة .



شكل رقم (٢٣) يوضح

حالات نمو البللورات داخل مسام المواد

الحالة الأولى : توقف نمو البللورات نتيجة جفاف المسام .

الحالة الثانية : استمرار نمو البللورات نتيجة وجود تحاليل داخل المسام.

النموذج الثانى : نموذج تميؤ الأملاح Hydrated salts:

هذا النموذج يعتمد على الأمـلاح التى تكـون بللـورات ملحيه مائيـة Hydrated salt crystals ، هذه البللورات تحتوى على بعض جزيئات الماء التى تشغل مواقع هامة ضمـن تركيبها البللـورى The crystal structure مثـل: كبريتـات الصوديـوم Na2SO4.10H2O وكربونـات الصوديـوم $NaCO_3.10H_2O$ وكبريتـات $CaSO_4.2H_2O$. بالاضافـة إلـى مركبـات كيميائيـة أخـرى عديـدة ، مثـل : الأمـلاح التـى لاتكـون بللـورات مائيـة Not form Hydrated Crystals مثل كلوريد الصوديوم CaCl.

أيضـا فإن الأملاح المائية ربما تتكون فى شكل بللورات بـدون وجـود الماء ، مثل : الانهيدرايت - كبريتات الكالسـيوم غير المائيـة - وهـذه تشـغل أحجام أقل من الأملاح المائية .

والأملاح المائيـة قد تتضخم ببطء شديد وبنسب متفاوتـه لتمـلأ فـى النهايـة - بكـل سـهولة - كـل الفراغـات المتاحـة داخـل المسـام الواسـعة فـى المـواد، وينشـأ عـن ذلـك ميكانيكـة دفـع Heave mechanism ذات فعاليـة كبيرة فى عمليات التلف .

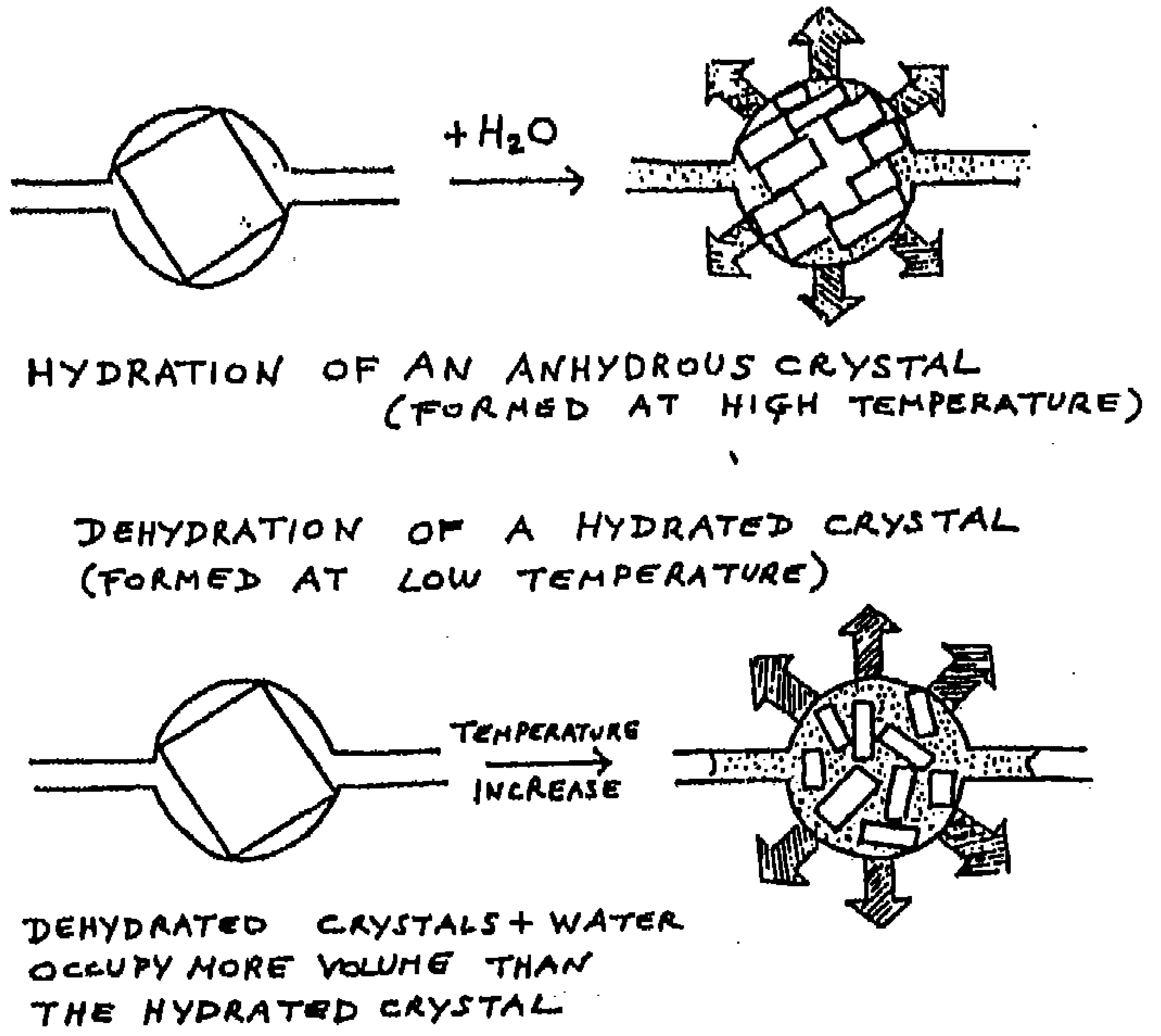
ومـع ذلـك فـإن قدرتهـا الشـخصية علـى خلـق ضغـوط تمـزق Disruptive stresses تكـون مشـروطه بانتقالهـا إلـى طـور الانهيدرايـت Anhydrite أو الأقل هدرته Less hydration . وهـذا يعتمـد علـى تـأثير التغير فى حالة الجو المحيط بمواد البناء المسامية .

فمثلا : عندمـا تمـلأ البللـورات المائيـة مسـام المـواد ترتفـع الضغـوط الداخلية، وعندما ترتفع درجة الحرارة ، وتنخفض الرطوبـة النسـبية ، تتحـول

الحالة المائية Hydrated للأملاح إلى الحالة الأقل مائيه Less hydrated تاركة بعض جزيئات الماء حره .

ويلاحظ أن الحجم النهائى للبلورات الملحية تكون أكبر من البللوره الأصليه .

على الجانب الآخر فإن البللورات الملحية ، الأنهيدرايت أو الأقل هدرته، والتى تملأ المسام الواسعة ، من الممكن أن تنتقل إلى الطور المهدرت أو المائى، بواسطة إمتزاز الماء من المسام المحيطه . وتصبح هذه البللورات أكثر ضخامة ، وتضيف ضغوط أخرى ال الضغوط الموجودة أصلا بسبب تبلور هذه الأملاح . انظر الشكل رقم (٢٤)



شكل رقم (٢٤) يوضح

الضغوط الناتجة عن تكون بللورات الأملاح داخل مسام المواد

- التآكل النقرى **Alveolar Erosion:**

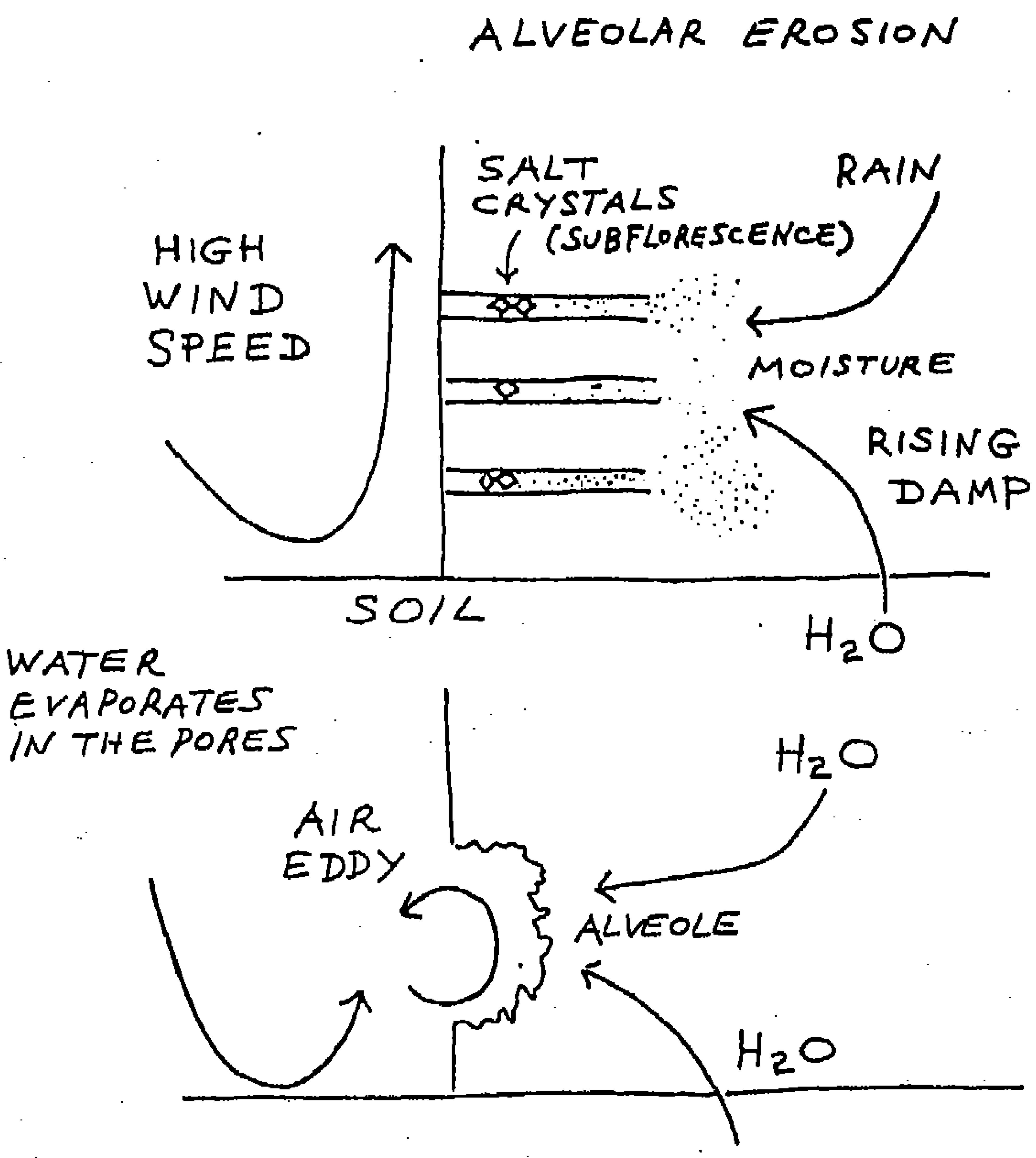
التآكل النقرى نموذج من نماذج تحلل المواد المسامية التى تلعب الأملاح المتبلوره أهم حلقاته .

ويعتمد التآكل النقرى على حقيقة هامة تميزه ، وهى حدوث عمليات تآكل فى مناطـــق مميزه لتكون فى النهايـــة تجاويف عميقة أو نقر Deep cavities or Alveoles وذلك فى الأسطح غير المحميه ، فى الوقت الذى لاتتأثر فيه الأسطح الأخرى القريبة من مناطق التآكل .

وتحدث عمليات التآكل النقرى دائما على الأسطح التى تتعرض للرياح الشديدة ، حيث تزداد دوره بخر الماء من هذه الأسطح .

فى مثل هذه الحالة لاتتكون طبقة رقيقة من الماء ، فى حالة السيوله ، على السطح الخارجى لمواد البناء ، لأن البخر يكون سريعا إلى حد كبير . كما أن معدلات الماء الذى يصل إلى السطح لتغذية البخر تكون غير كافية لذلك تظهر المواد وكأنها جافة ، إلا أن البخر يحدث فعليا تحت السطح فى المسام نفسها . ويزداد تأثير ضغوط تمزق بللورات الأملاح Disruptive stresses فى مناطق البخر ، ويبدأ سطح البخر فى التحلل بسرعة.

علاوة على ذلك يحدث تعجيل لعمليات التلف عندما تحدث فجوه فى السطح ، لأن الرياح تزداد سرعتها داخل هذه الفجوة بسبب دوّامات الهواء كما يزداد البخر فى هذه المساحة النوعية . انظر الشكل رقم (٢٥)



شكل رقم (٢٥) يوضح

التآكل النقرى بفعل الرياح والأملاح المتبلوره

فى الماضى كان يعتقد أن الرياح هى السبب الأساسى فى تكوين النقر Alveole formation بسبب ظاهرة السفع بالرمـال Sand blasting التى تحملها هذه الرياح عند تحركها .

لكن اتضح أن الرياح ليست العامل الأساسى ، وإنما هى عامل ثـانوى يساعد فى زيادة التلف بواسطة النقر وأن العامل الأساسى فى هذا النموذج من التلف هو الأملاح المتبلوره . لكن الرياح تسبب نموذج آخر من نماذج التحلل يسمى : التآكل الهوائى Eolic erosion أو التآكل بالرياح .

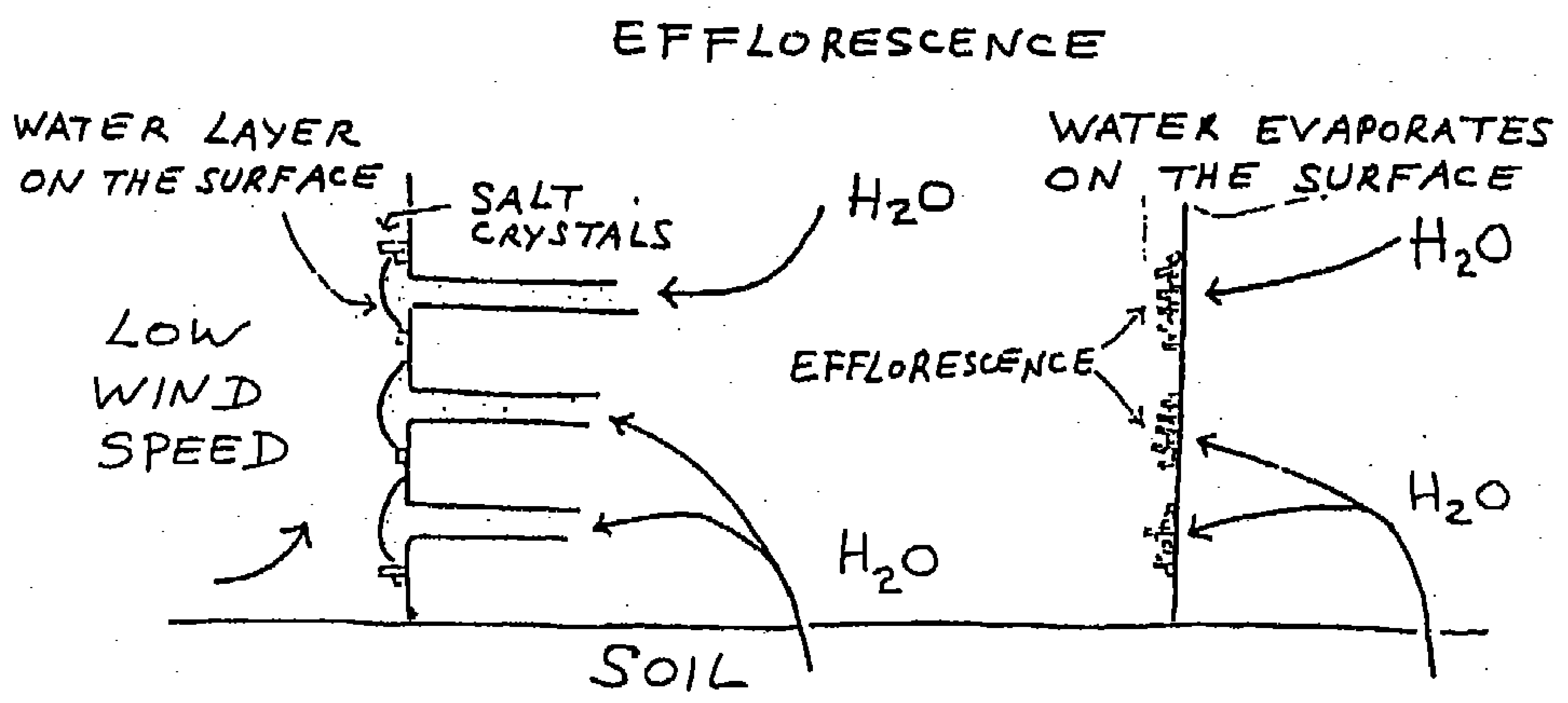
وقد يحدث أن يرى المرمم أثناء متابعته الدوريه للمبانى الأثريـة المكشوفه ، الفجوات الناتجه عن التآكل النقرى ، ويقوم بعلاج هذه الفجوات علاجـا موضعيـا عن طريـق ملئهـا بمـواد مانعـه للمـاء Impervious to water وفى هذه الحالة للأسف تنتقل عمليات البخر إلى الأسطح الميطة فى المادة الأصلية ، والتى تبدأ بالتالى فى التحلل " لذلك يجب أن يكون العلاج شاملا السطح كله " .

- **تزهر الأملاح Efflore scences :**

تزهر الاملاح عبارة عن : بللورات ملحية تتكون على أسطح المواد المسامية عندما يتبخر منها الماء، لأن الماء يغذى هذه المسام بكميات كبيرة ، أو لأن سرعة الرياح تكون قليلة .

فى هذه الحالة فإن بللورات الأملاح تتكون من نقط - وبصفة أساسية - خارج المسام ، والتاثير المتلف لهذه البللورات يكون ضعيفا أو قليلا.

هذا الحالة موضحة فى الشكل رقم (٢٦).



شكل رقم (٢٦) يوضح

تزهر الأملاح على أسطح المواد المساميه

- تأكل الكلابات الحديدية Corrosion of Iron Cramps:

تحلل حديد التسليح ينتج عنه زيادة فى حجم المعدن ، لأن صدأ الحديد Rust أو الأكاسيد المائيه Hydrated oxides سواء كانت كثيرة أو قليلة تشغل حجوم أكبر من حجوم المواد الأصلية .

ولو أن الحديد تم طمره Embedded فى مواد البناء عند استخدامه كمادة تقوية أو تجميع Issemblage or Reinforcement فإن تأكل الحديد ربما يتأخر لعدة عقود . " العقد عشر سنوات " لأن الماء الزائد والأكسجين يصلان إلى سطح المعدن ببطء شديد إلى أبعد حد .

ومع ذلك فإنه لو بدأ بعض التآكل فى الحديد ، فإن زيادة حجم الحديد، يسبب ضغوطا داخلية ، وتتكون شروخ دقيقة فى المواد المحيطة .

والنتيجة أنه يسهل وصول زيادة من الماء والهواء إلى سطح المعدن ، لذلك فإن عمليات التلف الخطيرة بعد أن تبدأ بصورة ضعيفة ، فإنها تزداد فجأه ، وفى وقت قصير قد تؤدى إلى نتائج مدمره.Catastrophic results.

وتوجد على سبيل المثال ، أمثلة هامة للتلف بسبب استخدام حديد التسليم فى المبانى الأثرية والتاريخية فى :

The temples of the Acropolis of Athens, the pantheon in paris and st. Paul within the walls in rome.

******

الفصل الثالث
العمليات الكيميائية
Chemical processes
Corrosion التـــــآكل

تتطلب دائما التفاعلات الكيميائية وجود مياه لذلك فإن التآكل الكيميائى يكون محتملا فقط عندما تتبلل مواد البناء بالماء .

والمياه لاتشكل - بصفة أساسية - أحد عوامل التلف الكيميائى لمواد البناء الأثرية، وذلك لأن هذا التأثير المتلف للمياه يكون مرتبطا بمادة البناء الأساسية ، والنشاط الكيميائى ، وطاقة الإذابة إلا أن المياه تمثل خطر جد كبير كمصدر محتمل للضغوط الداخلية ، ولكن ليس فى الغالب كعامل كيميائى.

وفى مناقشتنا للعمليات الكيميائية يكون من المفيد أن نميز بين المياه التى تأتى مباشر من الأمطار Rain water وبين المياه التى تترسب على سطح مواد البناء فى شكل طبقة رقيقة Water films بواسطة عمليات التكاثف Condensation.

٣-١- مياه الأمطار Rain water:

مياه الأمطار - غالبا - ماتكون حمضية ، لأن الهواء يحتوى على ثانى اكسيد الكربون والذى يذوب فى الماء مكونا حمض كربونيك وهو حمض ضعيف جدا.

$$CQ_2 + H_2O \rightarrow H_2CO_3$$

وفى مثل هذه الظروف فإن كربونات الكالسيوم والماغنيسيوم الموجودة فى بعض مواد البناء ، مثل : مون وملاط الجير ، والحجر الجيرى ، والرخام ، ربما تتحول إلى بيكربونات ، وتتحلل ببطء.

كذلك فإن منتجات السيراميك ، مثل : الطوب ، والبلاط، – على وجه الخصوص – التى تتكون أساسا من : سيليكات الكالسيوم والألومنيوم ، التى غالبا لاتذوب فى الماء ، بالإضافة إلى أن هذه المواد تتمتع بخاصية المنع أو الصد لمياه الأمطار Quite resistant to rain water لكن يجب أن نضيف أن هناك تفاعلات تتم ببطء بينها وبين المياه الحمضية غير معروفة جيدا حتى الآن.

على الجانب الآخر فإن الطبقات الزجاجية Glazes أو الطلاءات التى تستخدم فى زخرفة البلاطات ربما تكون غنية بالأكاسيد القاعدية Alkaline oxides لذلك فإن بعضها يكون قابلا للذوبان فى الماء الحمضى Soluble in acid water أو حتى فى الماء المتعادل In neutral water.

أيضا الأحجار الرملية ، تحتوى على بعض معادن السيليكا مثل : الميكا Micas والكلورايت Chlorites والفلسبارات Feldspars التى يحتمل مهاجمتها بالماء فى نهاية المطاف . وعندما يحدث تفاعل بين هذه المواد والماء، قد يؤدى هذا التفاعل إلى نزح وفقدان بعض أيونات المعادن ، مثل : الكالسيوم والألومنيوم والبوتاسيوم والصوديوم . مع ملاحظة أن معظم الأحجار الرملية تبقى كما هى غير قابلة للذوبان فى الماء.

لكن فى حالة وجود معادن طفلة Clay minerals فإنها تصبح فى وجود الماء أكثر ليونـــــه، وأكثر تضخمــــا مــن المعـــادن الأصلية Much softer and bulkier.

بالإضافة إلى ذلك فان الحجر الرملى عادة مايكون أكثر مسامية ، وبالتالى ربما تتخلله مياه الأمطار إلى أعماق كبيرة، كما أن الماء يظل على اتصال دائم ، وربما لوقت طويل، مع المعادن المكونة له ، لذلك فإنه يظل رطبا باستمرار ، خاصة مع وجود مياه التكاثف ، التى يكون لها دور أساسى فى عمليات التلف .

وبناء عليه فإن الطبقات السطحية ، وبسمك يصل إلى عدة ملليمترات قد تصبح طرية ومنتفشه أو منتفخة Softend and swollen مسببة تحلل شامل فى الأسطح المعرضة .

بصفة عامة فإن معدلات عملية التآكل تكون قوية جدا فى وجود الماء، وذلك يعتمد على مسامية المواد ونوع المعادن الموجودة بها .

أيضا فإن درجات الحرارة العالية تسبب تعجيل عمليات التآكل خاصة فى المناخ الرطب الاستوائى Wet Tropical Climates .

٣-٢- التلوث الجوى Polluted Atmosphere :

يحتوى الجو الملوث فى المناطق الصناعية فى أوربا " أو أى منطقة صناعية أخرى فى مصر مثلا .. مثل : شبرا الخيمة وحلوان " على كميات مختلفة من أكاسيد الكبريت الناتجة عن حرق الكبريت الداخل فى الوقود وأكسدة ثانى اكسيد الكبريت يؤدى إلى انتاج حمض الكبريتيك ، طبقا للمعادلة الآتية :

$$SO_2 + H_2O \rightarrow H_2SO_4$$

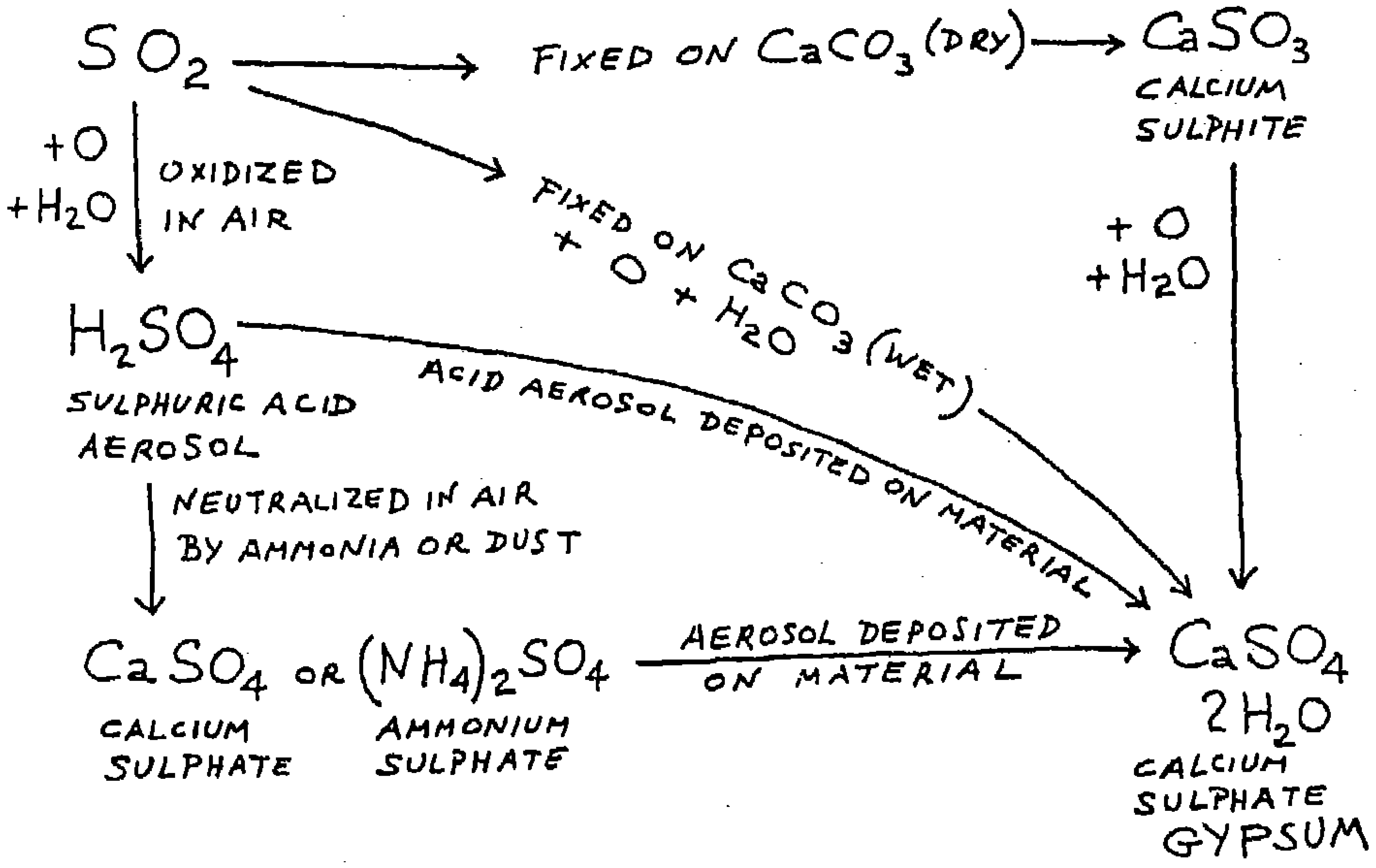
وحمض الكبريتيك حمض قوى ، على عكس حمض الكربونيك ، والماء الذى يحتوى على هذا الحمض يسبب تحلل العديد من المعادن مثل: الكربونات والسيليكات بمعدلات أسرع من الماء الذى يحتوى على حمض الكربونيك فقط.

وقد قام Winkler بحساب معدل تآكل الرخام فى المبانى الأثرية ، عن طريق ملاحظة عروق الكوارتز Quartz veins ووجد أن سطح الرخام يتأكل بنسبة ١ مم لكل ٢٥ سنة.

" أى ١سم/٢٥٠ سنة وهذه نسبة فى رأيى عالية جدا ، إذ أن ذلك يعنى أن البلاطات الرخامية التى تكسو جدران بعض المبانى الأثرية ، والتى يكون سمكها فى الغالب ٢سم ، قد تنتهى وتصبح غير موجودة فى ظرف ٥٠٠ سنة".

وعلى كل حال فإن تأثير تلوث الهواء على مواد البناء معقد جدا ، وغير معروف لنا تماما ، وذلك بسبب وجود العديد من الملوثات التى دائما ماتكون موجودة إلى جانب ثانى اكسيد الكبريت . وبعض هذه الملوثات من الممكن أن تكون سببا فى إنتاج أحماض أخرى غير حمض الكبريتيك .. مثل: حمض الهيدروكلوريك ، وحمض النيتريك ، وحمض الهيدروفلوريك ، وهذه أيضا لها تأثير متلف .

وفيما يلى رسم تخطيطى يوضح الطرق المحتملة التى من الممكن أن يهاجم بها ثانى اكسيد الكبريت مواد البناء المختلفة ، خاصة تلك التى تحتوى على مواد جيرية "ويؤدى فى النهاية إلى تلفها".



شكل رقم (٢٧) يوضح

الطرق المختلفة لمهاجمة غاز ثانى اكسيد الكبريت

لمواد البناء خاصة الجيرية

ويجب ملاحظة أن الملوثات لو انتشرت فى أحجام كبيرة من الهواء فإن محصلة التلوث تكون منخفضة. "على العكس من ذلك لو أن نطاق التلوث ضيق تزيد به نسبة الملوثات ".

ويمكن تحديد نطاق التلوث عن طريق قياس كمية الملوثات الموجودة به ، وكذلك يمكن تحديده عن طريق الظواهر والأحوال الجوية Meteorological factors .

٣-٣- عمليات البلل والجفاف Wet-Drying processes:

دائما تتغطى الأسطح المكشوفة من مواد البناء بواسطة طبقة رقيقة من المياه A film of water والتى تكون غالبا رقيقة جدا بحيث تسمح للمياه بالتسرب من فوق السطح إلى الداخل.

وتتكون هذه الطبقة الرقيقة من المياه بواسطة التكاثف ، أو بواسطة تساقط قطرات المياه العالقة فى الهواء ، مثل : رزاز المطر Fine mist أثناء المطر ، أو الضباب Fog، والمياه فى هذا الشكل قد تسبب العديد من التكنيات بصورة أكثر من فعل أو تأثير ماء المطر الذى يصطدم بالأسطح المعرضه ، لأنها غالبا ماتكون حمضية، وحاملة أو ناقلة لكل جزيئات الملوثات الموجودة فى الجو مثل : السناج Soot, والغبار Dust ... الخ.

ونتيجة لذلك فإن ترسبات الشوائب من الجو، أو نواتج تفاعل الأحماض مع المياه قد تؤدى إلى تلفيات لاتمحى من أسطح المواد الأثرية.

أيضا فإن نقط المياه المتكثفة على أسطح مواد البناء عند تشبع الهواء ببخار الماء ، ربما تتخللها لأعماق مختلفة داخل المواد نفسها ، مستغلة فى ذلك مسام المواد أو الشروخ التى تكونت بواسطة عمليات تلف سابقة ، ولكن هذه النقط المائية قد تعود مرة ثانية إلى السطح لكى تتبخر عندما تسود ظروف الجفاف، "وتسمى هذه العملية دورة البلل والجفاف Wetting-Drying Cycle".

ويمكن أن تحدث دورة الرطوبة (البلل) والجفاف عند تكرارها ، أيضا، بعض التلفيات ، بسبب مهاجمة الأحماض فى حالة الرطوبة أو بسبب

تبلور الملوثات Crystallization of pollutants وتفاعلها مع أسطح مواد البناء فى حالة الجفاف.

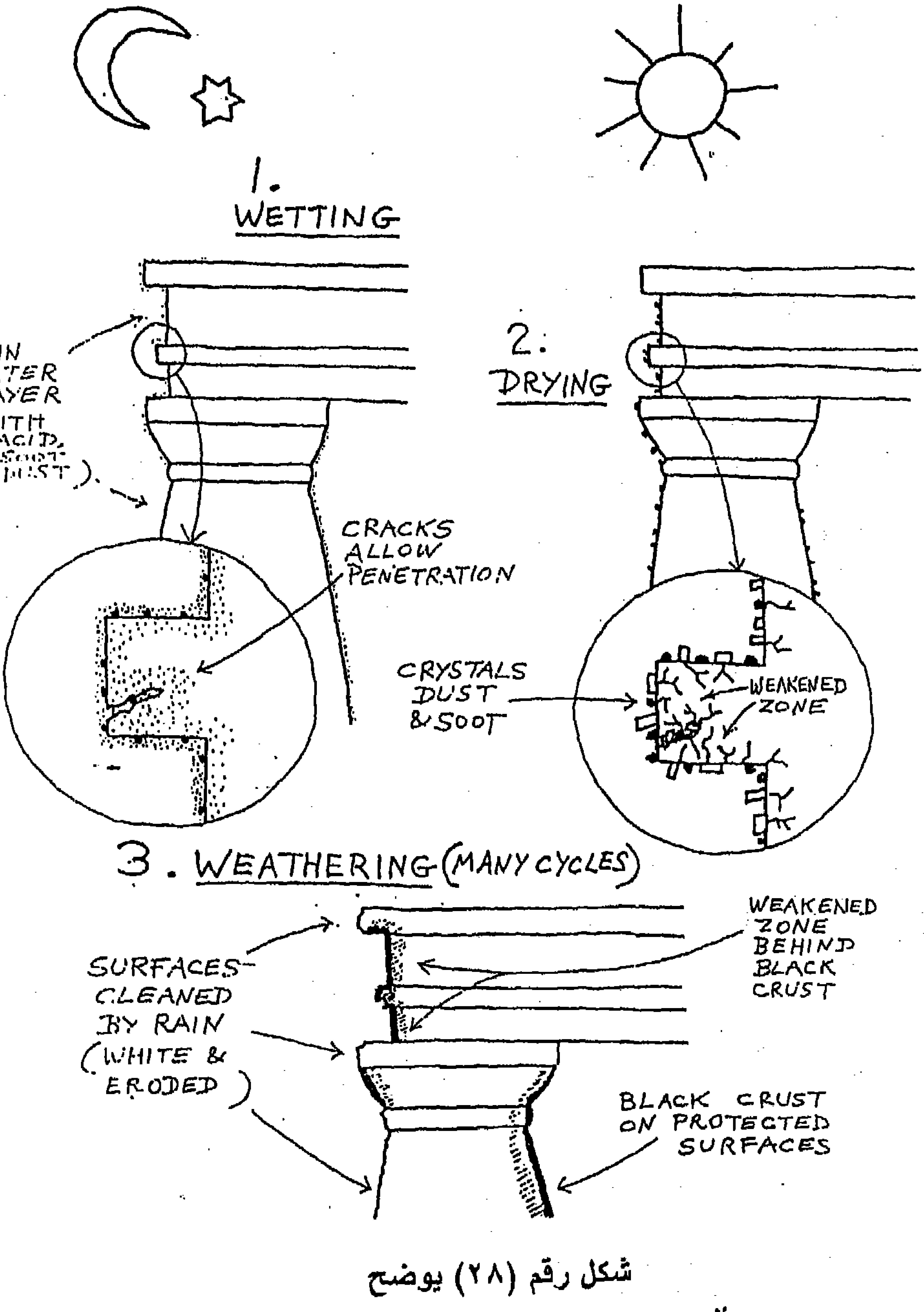
والأسطح التى تتأثر بعمليات الرطوبة والجفاف يمكن التعرف عليها بسهولة فى المبانى الأثرية ، لأنها تكون على شكل طبقات صلبة ترابية من كثرة السناج والغبار Hard crusts, Soiled by Soot and Dust.

انظر الشكل رقم (٢٨).

هذه الطبقات نادراماتكون صلبة وغير منفذة للماء، وذلك لأن الشروخ العرضية Cracks traverse تجعلها باستمرار لاتشكل طبقة واقية Protective layer.

هذا على خلاف مايذكره بعض المتخصصين من "ان طبقة الباتينا Patina تشكل طبقة واقية لأسطح مواد البناء ، إذ أن التحلل ربما يستمر خلف هذه الطبقة، والتى غالبا ما تشكل طبقة كاذبة فوق جزء مفكك غير متماسك من المادة ، وقد يتم التلف بسبب دورات الرطوبة والجفاف، بسرعة ، تحت المظهر الخادع The deceptive apperance للسطح المحفوظ جيدا، والمغطى بطبقة باتينا سوداء A dark patina .

وعلى كل حال فإننا نستطيع تقييم حالة تأثر السطح التى تتم بواسطة عمليات التجوية ، انظر الشكل رقم (٢٨)، خاصة عمليات التكاثف وأيضا دورات الرطوبة والجفاف عنداختبار السطح بواسطة النقر أو الضغط عليه Tapping ، وكذلك عن طريق جمع عينات منه وفحصها بالوسائل العلمية الحديثة .



شكل رقم (٢٨) يوضح
تأثير دورات البلل والجفاف وأيضا التجوية
على أسطح مواد البناء

وتعتمد مقاومة مواد البناء المسامية لدورات البلل (الرطوبة) والجفاف على :

* مسام مادة البناء The pore structure.

* مقاومتها الميكانيكية The mechanical strength.

فقد ثبت أن المواد ذات المسامية الأقل Low porosity وذات المقاومة الجيدة للشد Good tensile strength تكون أكثر مقاومة لهذا النوع من التلف الحادث بسبب دروات الرطوبة والجفاف.

كما ثبت أيضا أن الطوب المحروق حرقا جيدا والبلاطات تقاوم فعليا عمليات التلف بسبب دورات الرطوبة والجفاف في حين يتأثر السيراميك غير جيد الصناعة باستمرار هذه الدورات .

كما أن معظم الأحجار الجيرية ، والأحجار الرملية تتأثر بعمليات التلف الناتجة عن دروات البلل والجفاف، بالإضافة إلى المون الجيرية .

هذا مع العلم أن مواد البناء قليلة المسام تنتمى إلى تلك المجموعات التى يمكن أن تظهر مقاومة جيدة لعمليات التلف بصفة عامة ، مثال ذلك : حجر Istrian وهو حجر جيرى دقيق البللورات ، قليل المسام .

أما الرخام الأبيض فيتأثر بصورة مدهشة بواسطة عمليات التجوية ، لأنها تصبح أكثر عداوة Progressively وتصل إلى أعماق كبيرة فى سطح الرخام ، بسبب مساميته العالية الناتجة عن القدم Ageing وأيضا بسبب الشروخ الداخلية التى تحدث فى الرخام بسبب دورات الحرارة Thermal cycles .

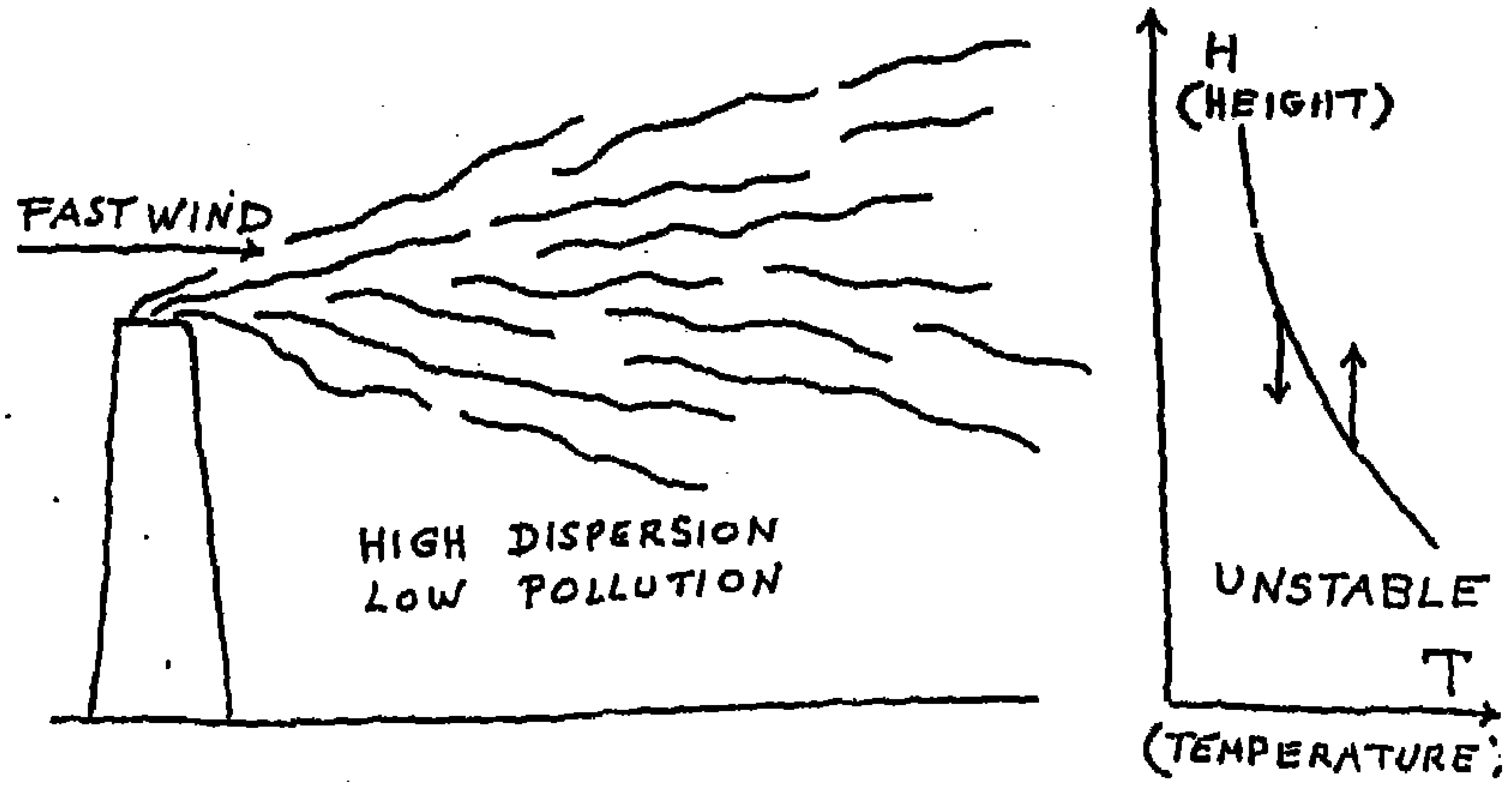
ويجب أن نعلم أن مقدار المسامية والتماسك الداخلى لأى مادة يعتمد فى الواقع على تركيبها الكيميائى .

وقد لوحظ أنه فى كل أنواع الحجر المستخدم فى البناء توجد طبقات مقاومة للتلف Resistant beds وأخرى قليلة المقاومة فى حالة تبادل مع بعضها داخل النوع الواحد من الحجر المستخرج من محجر معين أو من نفس المحجر The same quarry " ولكن لاتوجد طبقات ضد التلف أو تستعصى على عمليات التلف ".

٣-٤- علم المناخ وتلوث الهواء Air Pollution Climatology :

يمكن حساب تلوث الهواء عن طريق حساب كمية الملوثات المنتجة، وأيضا عن طريق رصد عوامل التقلبات الجوية . وبصفة عامة فإنه لو انتشرت الملوثات فى حجم كبير من الهواء فإن المحصلة النهائية تكون ضعيفة.

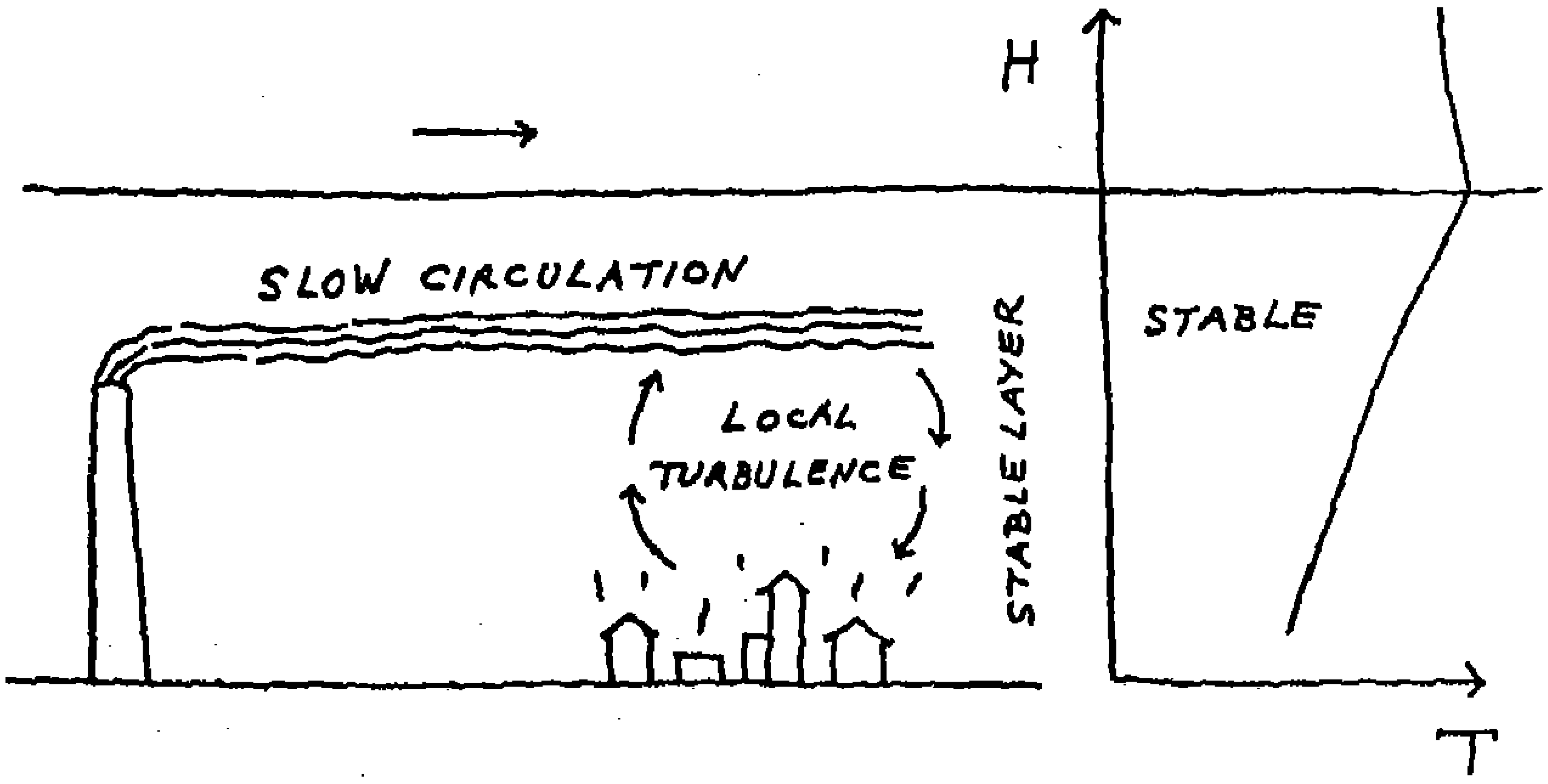
" وهذا يعنى أنه إذا كانت الرياح شديدة مثلا فإنها تساعد على انتشار الملوثات فى أحجام واسعة من الهواء مما يقلل نسبة التلوث ، أى أن نسبة التلوث تتناسب عكسيا مع حجم الهواء " انظر الشكل رقم (٢٩).



شكل رقم (٢٩) يوضح
فعل الرياح السريعة على الملوثات الناتجة عن المصانع

وعادة فى الغلاف الجوى تقل درجة الحرارة كلما ازداد الارتفاع. وفى مثل هذه الحالات يكون الهواء غير مستقر لأن الهواء الساخن يتجه نحو الارتفاع فوق الهواء البارد.

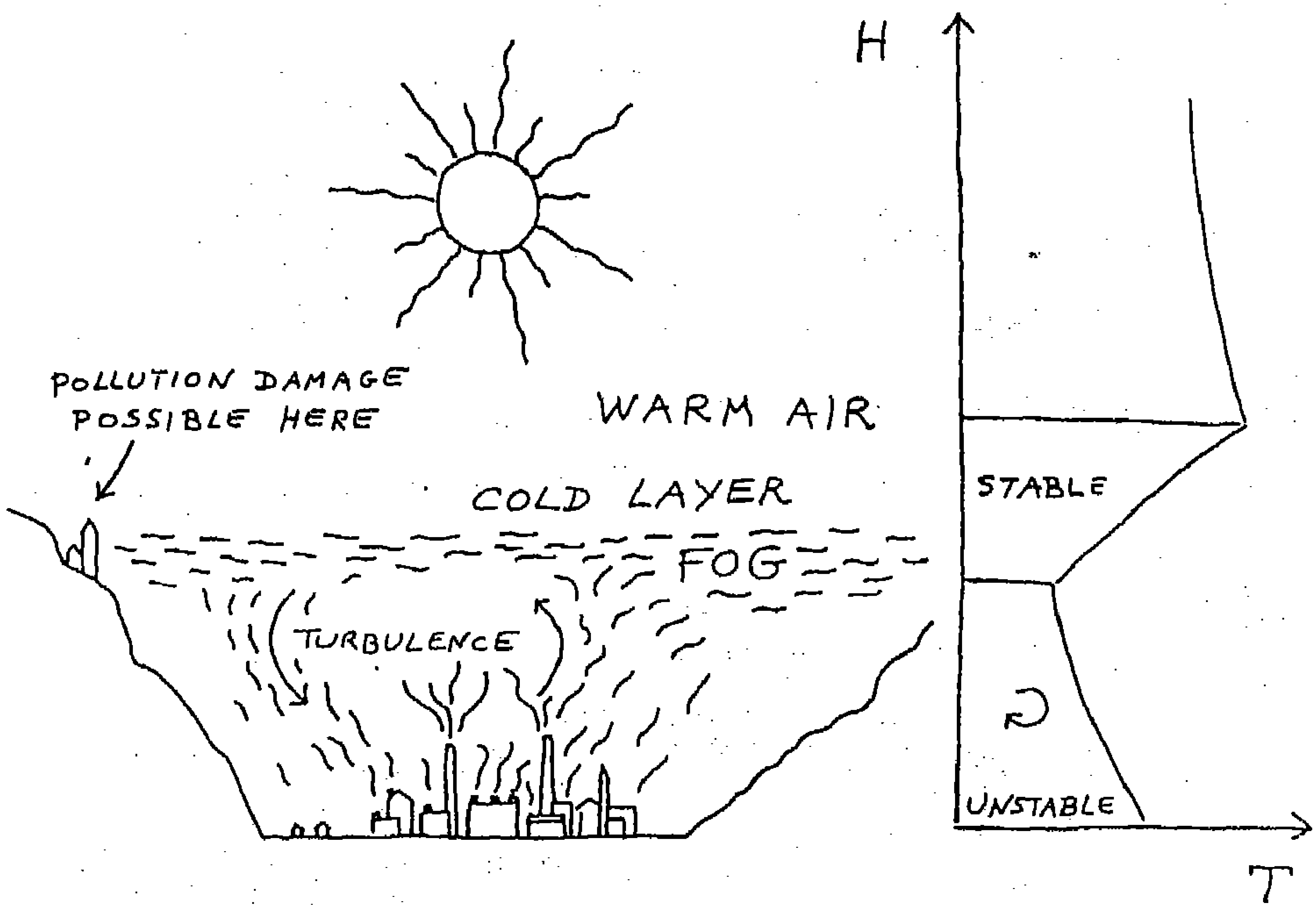
فى ليالى الشتاء، بالقرب من الأرض، تتكون طبقة من الهواء تزداد درجة حرارتها بالارتفاع، وفى مثل هذه الحالات يستقر الهواء، لأن الهواء البارد يتجه نحو البقاء فى الطبقة السفلى .. هذه الحالة تسمى : الانقلاب الحرارى Thermal inversion.



شكل رقم (٣٠) يوضح
ظاهرة الانقلاب الحرارى

فى مثل هذه المناطق تكون دورة الهواء criculation of air عادة منخفضة، والملوثات لاتنتشر "أى تتركز فى نطاق التلوث وتتجه نحو الإنتقال إلى ارتفاع ثابت وتستقر ولكن ربما تعود ثانية إلى الأرض عن طريق مناطق الاضطراب المحلى Local turbulence التى تحدث بسبب الأسطح الدفيئة Warm surfaces مثل المنازل المدفئة Heated Houses.

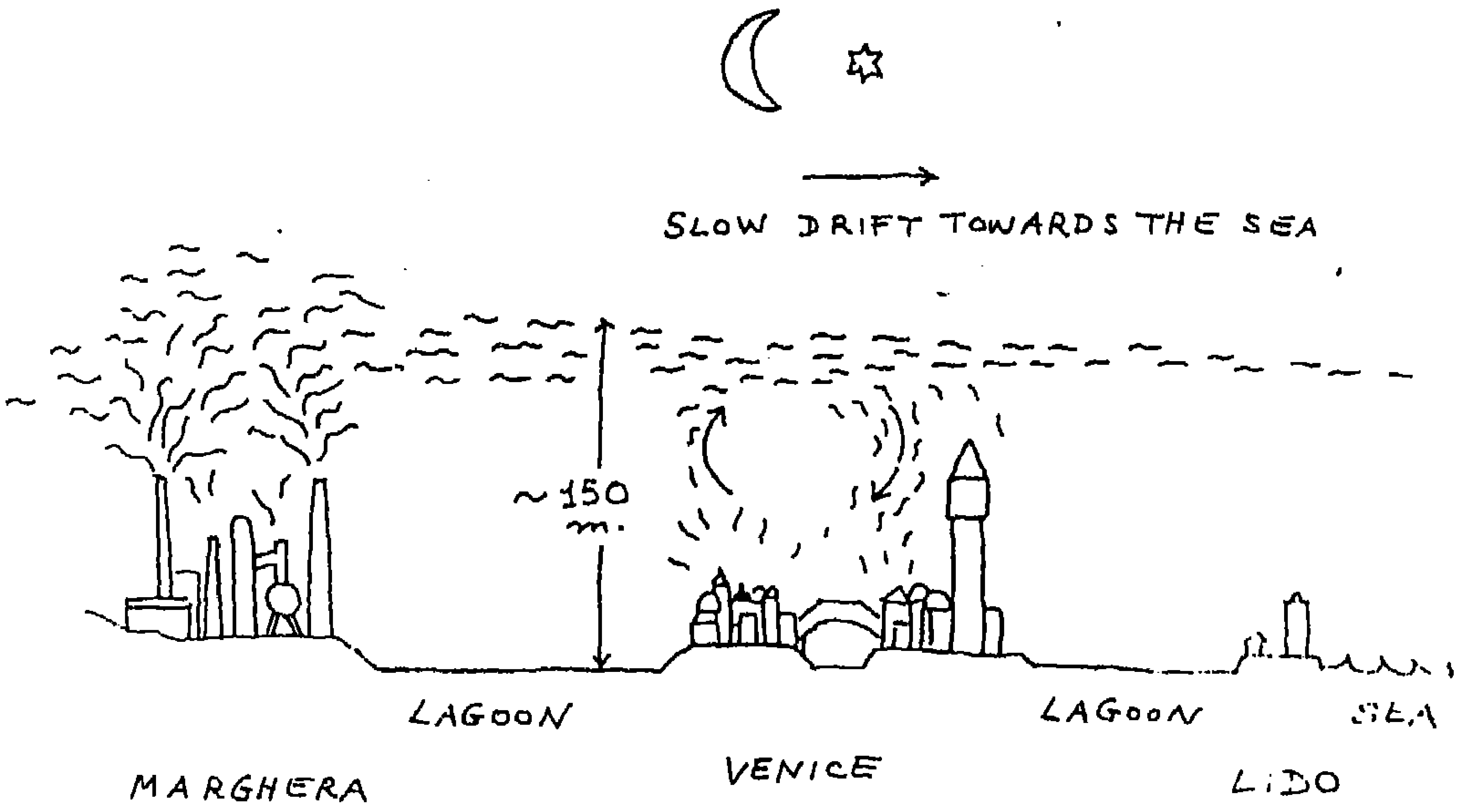
وعلى سبيل المثال تحدث حالات التلوث المرتفعة فى الأودية فى الشتاء ، عندما يحدث الانقلاب الحرارى فى المناطق ذات الضغط العالى ، وذات سرعة رياح منخفضة ، وذات طقس معتدل . انظر الشكل رقم (٣١).



شكل رقم (٣١) يوضح
الانقلاب الحرارى فى الوديان فى فصل الشتاء فى الصباح

وهناك حالة خاصة تحدث فى فينيسيا Venice عندما يحدث تلوث عن طريق المصادر المحلية Local sources مثل : نظم التدفئة فى المنازل . ومصدر أخر هو الانتقال Transport أى انتقال الملوثات من المناطق الصناعية مثل : مدينة Marghera عندما يحدث انقلاب حرارى .. وغالبا ماتحدث هذه الظاهرة فى الخريف والشتاء .

وفى الشتاء بصفة خاصة تكون مدينة فينيسيا أدفأ من البحيرة المتصلة بها ، ويحدث فوقها ظاهرة الاضطراب المحلى Local turbulence والتى غالبا ماتكون بسبب ظاهرة الانقلاب الحرارى . انظر الشكل رقم (٣٢).



شكل رقم (٣٢) يوضح

مدينة فينيسيا فى ليلة شتاء صافية

الفصـــل الرابـــع

التلف البيولوجى للمواد المساميه

Biodeterioration of Porous Materials

٤-١- البكتريا والفطريات Bacteria and Fungi:

تولد العديد من أنواع البكتريا الطاقة اللازمة لأنشطتها الحيوية من التفاعلات الكيميائية غير العضوية Inorganic chemical reactions بعمليتى الأكسدة والاختزال التى تمتلك القدرة على إحداثهما. وقد تؤدى هذه التفاعلات إلى تكون أحماض قوية أو ضعيفة، تؤدى إلى تآكل أو تحلل مواد البناء المسامية التى تتأثر بهذه الأحماض.

فمثلا : بكتريا دوره الكبريت The bacteria of the sulphur cycle المعروفة باسم Thiobacilli هذه البكتريا تستطيع انتاج حمض الكبريتيك من الكبريت أو الكبريتيدات أو حتى من ثانى اكسيد الكبريت ، خاصة عند وجود اعداد ضخمة من بكتريا الكبريت على سطح المواد ، تزيد عن ١٠٠٠٠/جرام ، والدليل على ذلك بعض المبانى فى ضواحى مدينة باريس مثل مبنى Angkor rat حدث فيها تآكل لأسطح بعض المواد ، وقد أثبت الفحص المجهرى للأحياء الموجودة على هذه الأسطح ، أنها عبارة عن مستعمرات لبكتريا الكبريت مما يفسر إحتمال وجود التآكل المصحوب بتكون كبريتات الكالسيوم Calcium sulphate .

وهناك افتراض مشابه بالنسبة لبكتريا دورة النتروجين The Nitrogencycle التى تنتج حمض النيتريك، هذا الإفتراض لم تثبته نتائج التحليلات الإيجابية فى الدراسة الفعلية لحالات التلف.

كما أنه يوجد أنواع أخرى من البكتريا والفطريات تستمد طاقتها من أكسدة المواد العضوية ، وتنتج الأحماض العضوية كناتج نهائى للتفاعل ، وحمض الأو كساليك Oxalic acid هو واحد من هذه الأحماض.

هذه الحقيقة قد تساعد فى تفسير عديد من اكتشافات أو وجود اكسالات الكالسيوم بين المواد الموجودة فى القشرة السطحية على الأحجار القديمة In surface crusts over ancient stones وعموما فليس سهلا أن نقدر أهمية مثل هذه العمليات الميكروبيولوجية Microbiological processes فيما يتعلق بالتحلل الكيميائى والفيزيائى للمواد .

ومن المرجح أن تعاونا مستمرا يحدث بين هذين النوعين من عمليات التحلل فيما يعرف بالتلف الفزيوكيميائى Physico-chemical deterioration كما أن التلف الفزيوكيميائى يفتح الطريق أمام المستعمرات البيولوجية Biological colonization التى تلقى حافزا إضافيا من خلال ماتنتجه من الأحماض الإرتكاسية (النشطه) Reactive acids .

٤-٢- الطحالب Algae:

تهاجم الطحالب باستمرار مواد البناء فى الأجواء شديدة الرطوبة أو فى الأقاليم ذات المناخ الاستوائى ، مثل :Berobudur & Jara أو كهوف روما ، مثل Lascaux & Domus Aura ونادرا ما تتغلغل الطحالب فى عمق مواد البناء ، وبالرغم من ذلك فإنه تم الإستدلال على نوع من الطحالب يثقب الحجر، ويسبب انتفاخ وانفلاق الصخور Swelling & bursting of the Rock فى إقليم Borobudur.١

إلا أن التلف الأكثر شيوعا الذى تسببه الطحالب النباتية هو تحلل الأسطح Deterioration of surface ويكون هذا التحلل خطير ،ويحدث أضرارا بالغة ، إذا كانت أسطح المواد منحوته أو مرسوم عليها .Painted or carved surfaces

وتحتاج الغالبية العظمى من الطحالب إلى الطاقة الضوئية للقيام بوظائفها الحيوية ، لذلك نجد أن هذه الطحالب تنمو فى الكهوف غالبا على الأسطح المعرضه للضوء فقط Only on illuminated surfaces .

ويجب ملاحظة أنه بالامكان السيطرة على الاصابة بالطحالب عن طريق عمليات التنظيف والتعقيم بالمطهرات ، مع العلم أن فعالية المطهرات تستمر لفترة محدودة لذلك فإن العناية بالمواد الأثرية فى الأجواء الرطبة يجب أن تكون مستمرة ودائمة .

ويجب إدراك أن بعض المواد المصنعه والمستخدمة فى العلاج أو فى إبادة هذه الطحالب قد تكون قلويه ، ويحتمل أن تكون أملاحا قابله للذوبان ، أو قد تسبب تغيرات فى الوان الطبقة السطحية للمواد الأثرية.

٤-٣- الحزازات Lichens :

الحزازات أو الاشنيات نتاج إتحاد الطحالب والفطريات . وتنمو الخزازات نموا سريعا على مواد الأثار ويتسع انتشارها على الأسطح الخارجية.

وبالرغم من هذا فإن أنواعا عديدة منها لاتستطيع أن تحيا فى الأجواء الملوثة .

أما الحزازات القشرية البيضاء Crustaceous فهى تختلف قليلا عن الخزازات التى تنمو على السطح، إذ أن نموها قد يمتدالى بضع ملليمترات داخل مسام مواد البناء وتعمل على تحللها عن طريق انتاج الأحماض

العضوية ، مثل : حمض الأوكساليك ، وتظهر بعض الحزازات قدرة أقل على اختراق مواد البناء .

وعموما فإن التلف الناتج عن نمو الحزازات يستفحل ببطء ، ولكن تأثيره المشوه قد يكون شديد الخطوره ، خاصة على الأسطح المزخرفة أو المرسوم عليها Painting or plastic decorative وليس سهلا تنظيف الأسطح المصابة بالحزازات بأعداد كبيرة ، كما أن الوقاية من الإصابة بالحزازات يتطلب عناية دائمة .

وقد أحرز مؤخرا بعض النجاح فى إزالة الحزازات القشرية عن طريق إضافة الهلاميات القاعدية Basic jellies .

٤-٤ طحالب المستنقعات Moss:

بإمكان طحلب المستنقعات إحداث تمزق محدود فى سطح مواد البناء، حتى عمق سنتيمتر واحد أو أكثر ويبدو أن هذا الطحلب يفضل النمو على الأسطح القلوية ، مثل : خرسانة الأسمنت أو مون الجير.

وقد لوحظ فى بعض الأحيان نموات لطحالب المستنقعات على أسطح الأحجار الموجودة قرب الأماكن التى استخدم فيها خرسانة الأسمنت للتقوية .

٤-٥- النباتات العليا Superior plants:

قد تسبب جذور الأعشاب والشجيرات أو الأشجار تمزقا فى مواد البناء حتى لو كانت المبانى تبعد قليلا عن هذه النباتات . ويفشل التحكم فى عمليات تدهور المبانى بسبب الجذور بدون وضع نظام صيانة دورية لهذه المبانى .

لذلك تظل عمليات الصيانة الدورية للمبانى الأثرية ضرورية جدا خاصة فى حالات المبانى المهجورة أو شبه المهجورة .Semi-abandoned structures

الفصـــل الخامـــس

الاهتـــــــزاز Vibration

٥-١- مقدمة Introduction:

يحدث الاهتزاز بسبب حركة النقل الثقيل Traffic والقطارات Trains والماكينات Machinery أو صدى الصوت Sonic boom .ونتيجة ذلك يتناوب فى عناصر المبانى إجهادات شد وضغط سريعة ومتتابعة، يكون لها تأثيرات خطيرة فى العناصر المتشابكة ليس من السهل تحليلها على وجه الدقة .

ونظريا هناك حالات متعددة تسبب تلف خطير أو انهيارات للمبانى، أمكن تفسيرها أو ارجاع اسبابها إلى الاهتزازات الناتجة من حركة المرور.

والتجارب التى تمت فىالماضى – من سبعين سنة – استطاعت حساب الاجهادات التى حدثت بفعل الاهتزازات فى المبانى ، وقام العلماء بتعريفهما ، ومعرفة حدود الأمان لهذه المبانى .

وفى حالات كثيرة ثبت أن الإجهادات قد تحدث بسبب تتابع نماذج من الاهتزازات حدثت بفعل توالى حركة المرور السريع . وإن كان السبب الأخير غير كاف لإحداث التلف فى المبانى لو أخذ وحده فى الاعتبار .

ومع ذلك لو اعتبرنا ضغط التردد مركبا من أنواع أخرى من الضغوط التى تؤثر على عناصر البناء مثل : الأحمال ،والاجهادات البينية ، فإننا يجب أن نوافق على أن إجهادات الاهتزاز يمكن أن تسبب زيادة فى معدلات تحلل مواد البناء .

"وبناء على ذلك نرى أن الضغوط الناتجة عن الاهتزازات تشترك مع ضغوط أخرى ناتجة عن عوامل أخرى.

مثل : زيادة الأحمال على عناصر الإنشاء، فى إحداث التلف الجزئيى أو الإنهيار الكلى الكامل للمبانى الأثرية".

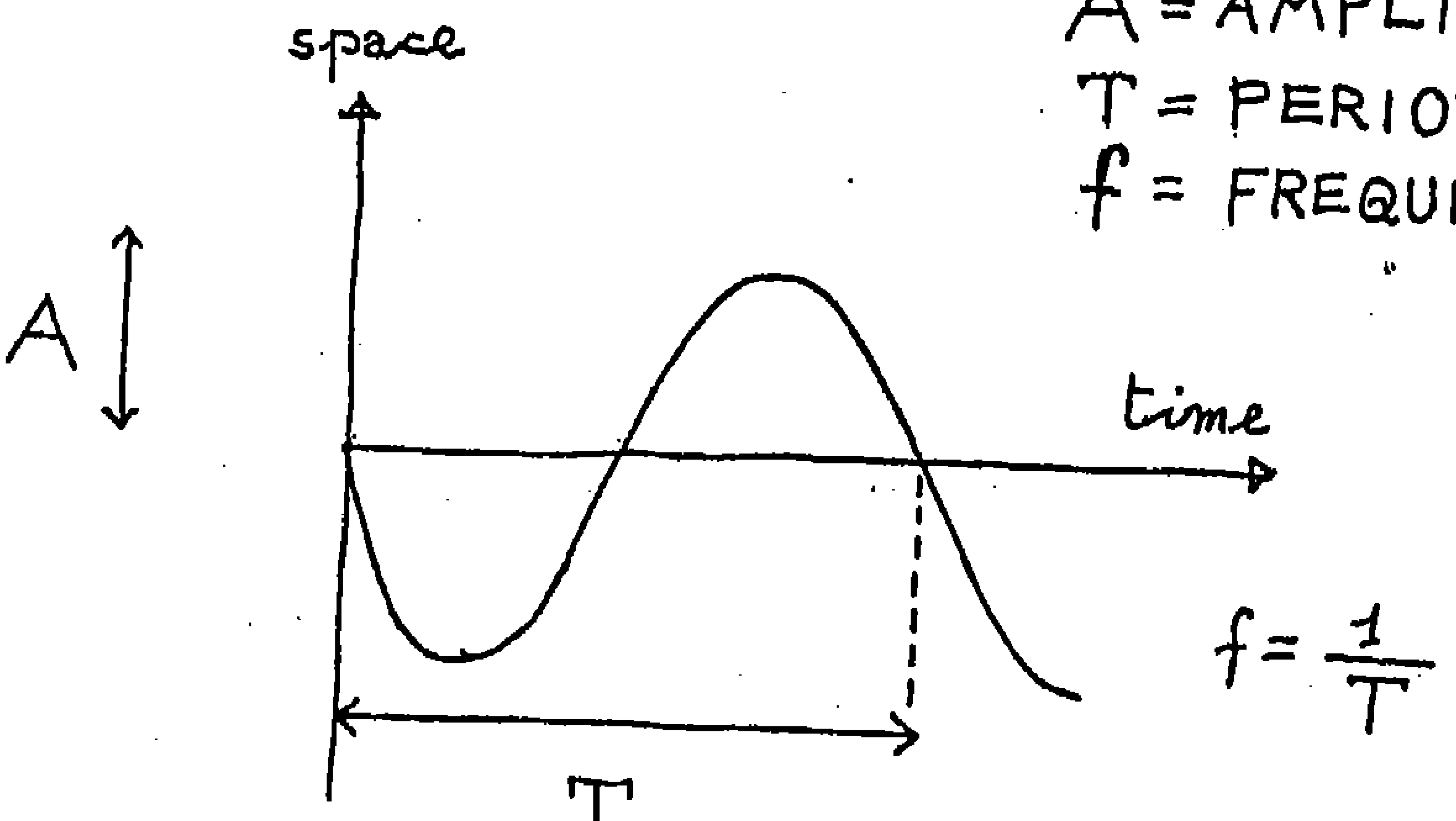
وعموما فإن عوامل تعجيل تحلل المبانى الأثرية يصعب قياسها.. وتبقى مشكلة تقسيم هذه العوامل صعبةالحل .. وجزئيا يمكن أن نسمح بحدود للإهتزازات قد تكون آمنة بالنسبة للمبانى ذات القيمة التاريخية .

ويجب أن نعلم أن الحد الأقصى المسموح به لإجهادات التردد ، يؤثر على المبانى عن طريق إشتراكه مع الإجهادات الأخرى ، واتصاله بهما ، وتكون النتيجة نسب تحلل معتدله Tolerable deterioration rate هذه النسب يمكن التحكم فيها بواسطة عمليات الصيانة الدورية المستمرة .

مثل هذا الافتراض مرتبط بالحد الأقصى المسموح به للإهتزاز طبقا لحالة المبنى، ونظام الحماية المقترح أو الذى يمكن تصوره للمبانى فى المستقبل .

٥-٢ - قياسات وتعريفات Definifion & measurements :

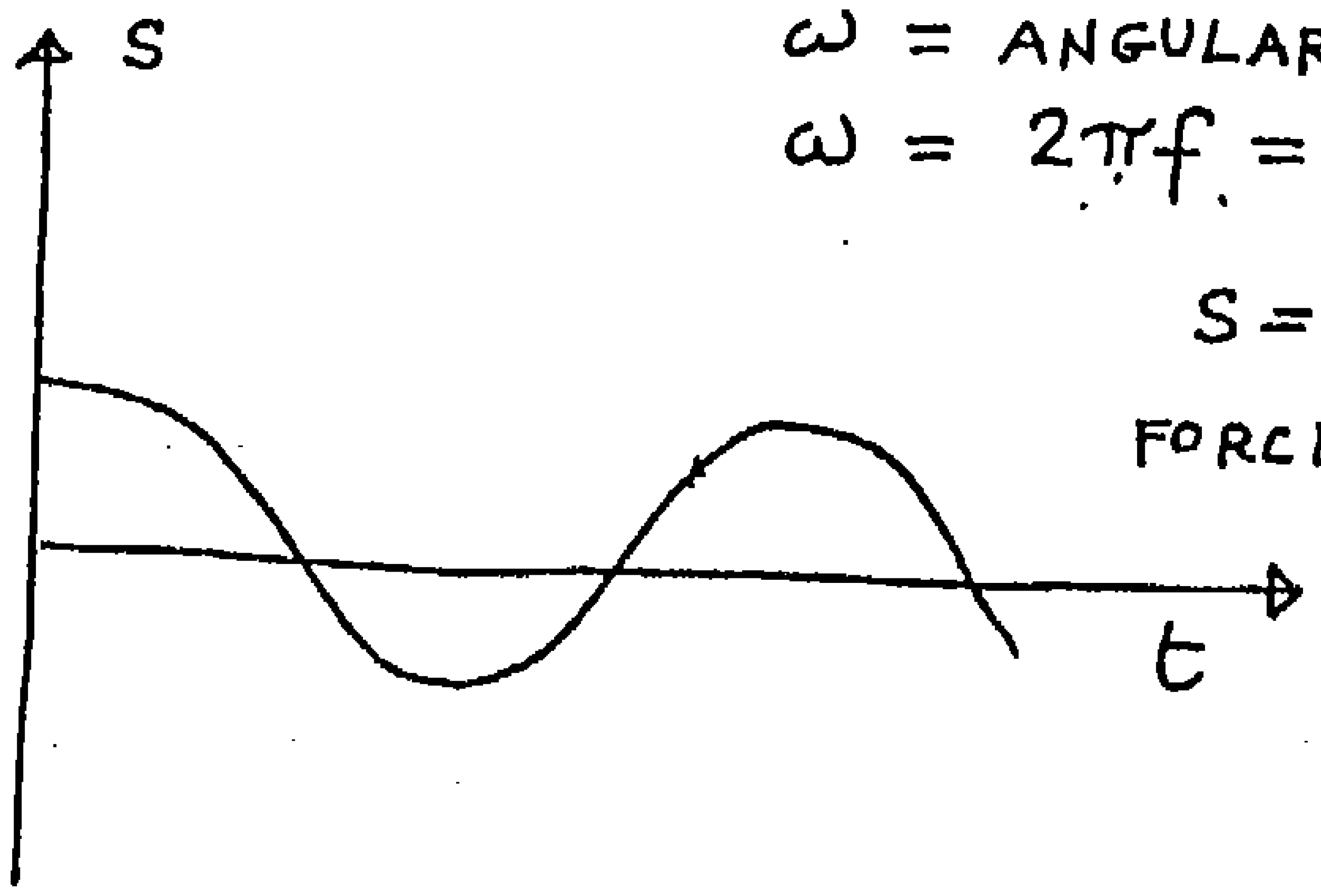
الاهتزاز عبارة عن حركة تبادلية لجسم متوازن على جانبيه جيئه وذهابا . انظر الشكل رقم (٣٣).



شكل رقم (٣٣) يوضح

حركة الاهتزاز

معظم الاهتزازات يمكن وصفها تقريبا بمنحنى جيبى sinusiodal curvc واحد ، أو باتحاد عدد من المنحنيات الجيبية . وبعدئذفإن مكان الجسم والقوة المؤثرة عليه يمكن حسابها بواسطة المعادلات الآتية :



ω = ANGULAR VELOCITY

$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$

$S = A \text{ sen } \omega t$

$\text{FORCE} = F \text{ sen } \omega t$

علما بأن :

A= السعه (سعة الذبذبه)

T= الزمن (زمن التردد)

f= التردد

w= السرعة الزاويه

s= المسافة

وقد تحدث الاهتزازات أيضا نتيجة بواعث فردية Individual impulses مثل: التفجيرات Blast " التى تحدث أثناء الحروب ، أو التفجيرات النوويه ، أو تفجيرات المحاجر وآلات دق الخوازيق أو الحفر Pile driving " مثل: تلك الآلات المستخدمه فى الحفر لاستخراج البترول أو عمل خوازيق عميقة للكشف عن المياه الجوفية " وهذه تسبب اهتزاز المبانى مع ترددها الطبيعى (Natural frequency (Fn" الناتج عن تشغيلها " ويكون إهتزاز المبانى عكس الزمن الطبيعى (Natural period (Tn للتردد.

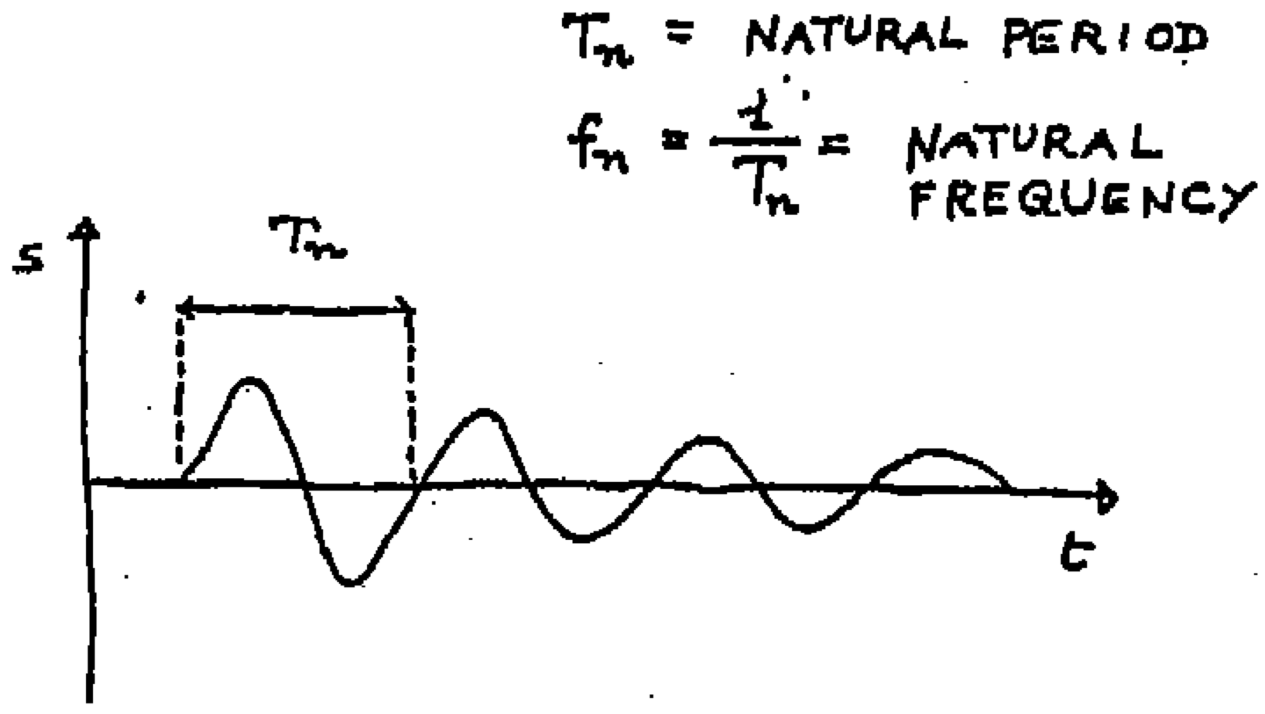
" بمعنى أن التردد الطبيعى يساوى مقلوب الزمن الطبيعى ، أى الزمن الدورى للموجه "كما توضحه المعادله التاليه :

$$F_n = \frac{1}{T_n}$$

ويلاحظ أن كل الاهتزازات تستمر مع استمرارتشغيل الماكينات أى مع استمرار بواعثها ، وكلما زادت قوى التردد الناتجة عن التشغيل كلما زادت الذبذبات الناتجة عن هذه الترددات وزادت بالتالى فىالمبانى المعرضة لبوعث الاهتزازات .

كما يلاحظ أن كل الاهتزازات تبدد الطاقة، ومن ثم تقل سرعة الذبذبات الناتجة عنها، وتتضاءل حتى تتلاشى تماما . انظر الشكل رقم (٣٤).

وتقاس الاهتزازات فى المبانى بمقاييس العجله Accelerometers التى تحول النبضات الميكانيكية Mechanical impulses إلى نبضات كهربانية Mechanical impulses وهذه يتم تسجيلها وتحليلها ومقارنتها ببيانات التردد والسعه والسرعة أو العجلة للاهتزازات



شكل رقم (٣٤) يوضح

تضاؤل موجة الاهتزاز كلما بعدت عن مصدرها

٥-٣- السعة Amplitude :

" السعة هى : الازاحة القصوى لجسم متذبذب، أو القيمة القصوى لكمية متذبذبة سواء فى الاتجاه الموجب أو السالب ".

ويعتمد تأثير سعة الاهتزاز علىالمبانى أو الناس على التردد Frequency ، وعادة تقاس سعة الاهتزازات بالميكرون (والميكرون يساوى ١٠$^{-٣}$مم).

مبدئيا تلاحظ أن ١٠ ميكرون/ سعة = ٥ هيرتز/ذبذبه وعند ٥٠ هيرتز/ذبذبه .. السعة تكون غير مستقره Annoying وعندما تكون ٥ هيرتز/ذبذبه أى ٤٠٠ ميكرون / سعة تولد إزعاج أو عدم شعور بالأمان

Discomfort بينما تكون ٥٠ هيرتز/ ذبذبه / ١٥ ميكرون / سعة تصنف بأنها مؤلمه Painful.

النقل الثقيل على الطرق يسبب إهتزازات سعتها تتراوح بين ٥-٢٥ ميكرون ، عند ذبذبات تتراوح بين ١٠-٣٠ هيرتز.

ومن التجارب التى تمت فى الماضى على الشحنات المتفجرة ، ثبت أن الحد الأدنى للضرر الناتج عن هذه الانفجارات يكون ٤٠٠ ميكرون / سعة إهتزاز فى المبانى الجديدة - وعند ٢٠٠ ميكرون / سعة اهتزاز فى المبانى القديمة .

وقد ذكر كل من Teichmann & West water فى بحث منشور عام ١٩٥٧ م ، أن المبانى ذات القيمة التاريخية ، والمبانى الواهية أو الضعيفة Frailty التى توجد فى أجواء سيئة أو ملوثه ، من الممكن أن تتحمل سعة إهتزاز تصل إلى ١٠٠ ميكرون .

٥-٤- قمة السرعة Peak velocity :

والسرعة هى : المسافة التى يقطعها جسم فى وحدة الزمن فى إتجاه معين .. فهى إذن كمية متجهة ، ووحداتها فى النظام الدولى هى : المتر فى الثانية "

ويمكن حساب سرعة اهتزاز أى مبنى عن طريق البيانات التى تؤخذ بجهاز " مقياس العجلة Accelerometer " إذ تكون مرشد جيد لتقدير اخطار تلف المبانى بسبب الاهتزازات.

والقاعدة الآتية : تكون مناسبه لحساب المنحنى الجيبى للاهتزاز لكن نتائجها تستخدم بصوره تقريبية فى معظم الحالات :

$$V = 2\pi AF$$

حيث أن V = السرعة

A = سعة الذبذبه

F = التردد

الملاحظة المبدئية أثبتت أن الانسان يتأثر عندما تكون سرعة الاهتزاز حوالى ٣ر٠ مم /ث .

وتصنف الاهتزازات بأنها مزعجة أو غير مستقرة Annoying إذا كانت سرعتها حوالى ٢,٥ مم / ث .

فى الفترة من ١٩٤٩-١٩٦٥م قام عدد من العلماء بإجراء سلسلة من تجارب التفجير Blasting على المبانى، واستطاع العديد من العلماء تقدير (قيم سرعة) للأضرار الطفيفه Minor damages التى حدثت فى العديد من هذه المبانى .. وقد ثبت أن هذه القيم تراوحت بين ٥٠-١٢٠ مم/ ث .

ومع ذلك فإن الدراسات الحديثة أوضحت أنه يمكن زحزحة حدود السرعة نحو القيم الأقل Towards lower values .

وفيما يلى نذكر القيم التى بينتها المواصفات القياسية الألمانية DIN رقم ٤١٥٠ لسنة ١٩٧٠ للنهاية العظمى للسرعة المسموح بها لمقاومة الصدمات المفاجئة Sudden shocks فى المبانى . انظر الجدول رقم (٣) مع ملاحظة أنه يجب أن تختزل قيم المواصفات القياسية فى حالة الذبذبات المداومة Sustained vibration حتى الثلث..

جدول رقم (٣) يوضح

المواصفه القياسية رقم ٤١٥٠ لسنة ١٩٧٠ من ٨-٨٠ هرتز

DIN 4150 (1970 Draft) Valid 8-80 Hz

No.	Description	maximum allowable velocity
1	Ruins and buildings of great historic value.	2mm/sec.
2	Buildings with existing defects	5 mm/sec.
3	Buildings undamaged (minor defects such as cracks in plaster)	10 mm/sec.
4	" Strong: buildings	10-40 mm/sec

وقد اثبتت الملاحظات أنه يوجد فرق يتراوح بين (١٢ر-١٦ر مم) زيادة أو نقص في هذه القيم .

وتتطلب المواصفات القياسية رقم٤١٥ قياس تأثير الاهتزازات على الأساس الخارجي External foundation للمبنى عند حد مستوى الأرض، من الثلاث اتجاهات (X,Y,Z) الاتجاه الرأسي والاتجاهين الافقيين .

In the vertecal & in the two horizontal directions

مع التعويض في المعادلة التالية :

PEAK VELOCITY

$$v_{r\,MAX} = \sqrt{v_{X\,MAX}^2 + v_{Y\,MAX}^2 + v_{Z\,MAX}^2}$$

مع العلم أن القيمة العظمى المسموح بها عند قياس سرعات الاهتزاز في الأرضيات والأسقف تكون ٢٠مم/ث .

وفيما يلى جدول رقم (٤) يوضح قيم الاهتزازات التى تسبب أضرار فىالمبانى مأخوذه من المواصفات القياسية الحديثة: Din 4150 - 1978

جدول رقم (٤) يوضح

أضرار الاهتزاز على المبانى

DIN 4150 (Draft 1978)

v_r max	Damage
< 2.5	No. Damage
2.5 To 6	Very unlikely
6 to 10	Unlikely
> 10	Possible

ISO/TC 108/Sc-2

v_r max	Damage
3 to 5	Visible Cracks (> 0,02 mm)
	In secondary elements: Partitons, Renderings
5 to 30	Visible Cracks in Principal Elements: Masonry Walls, Beams, Pillars, Floors
> 100	Large Permanent cracks Reduction of load Bearing Capacity

٥-٥- العجلة Acceleration :

نتائج قياس الاهتزازات غالبا ماتعبر عن العجلة ، التى تكون مرتبطة بالتردد والسعة ، بواسطة المعادلة التالية :

$$a = 4\pi AF$$

حيث أن a = العجلة

A = سعة الذبذبة

f = التردد

هذه المعادلة تكون صحيحة بالنسبة للمنحنى الجيبى للإهتزاز لكنها تستخدم بصورة تقريبية لمعرفة الاهتزازات الجيبيه ، وعادة تقاس العجلة بواسطة وحدة العجلة (g units) حيث أن ρ = عجلة الجاذبية الأرضية التى تساوى على سبيل المثال : ١٠م / ث٢ .

وأقل قيمة للعجلة التى تحدث تأثير واضح على الناس أو تأثير جدير بالملاحظة Not iceable effect تكون (0.01 g) .

ويحدث التأثير غير المرضى للعجلة un pleasant effect عندما تتراوح قيم العجلة بين (0.04 - 0.05 g)

كما يحدث التأثير السيى للعجلة عندما تصل قيمتها إلى قيم أعلى من (0.1g) وقد أوضحت البيانات المأخوذه من تجارب النسف Blasting experiments التى تمت على المبانى عام ١٩٤٢م بمعرفة كل من Thoenen & windes أن تلف المبانى يحدث إذا وصلت العجله إلى قيم (1g).

ويعتبر الكثير من الخبراء أن حد الأمــان للمبـانى safty limit هـو (0.1g.).

٥-٦- الشدة والطاقة والضغط Intensity, Power and Stress:

يمكن حساب الطاقة المنقولة بواسطة الاهتزاز وفقا لقواعد تجريبية مبنية على دالة التردد والسعة (السرعة أو العجلة).

كما أخذت دالة الشدة فى الاعتبار عند وضع المواصفات القياسية الألمانية Din رقم ٤١٥٠ لسنة ١٩٧٠م.

علما بأن المواصفات القياسية لسنة ١٩٣٦ م اعتمدت على مقياس بال The pal scale الذى يعد مقياسا لدالة السرعة فقط .

ويعتمد مقياس بال على المقارنة بين طاقة الاهتزاز المقاسه لاستخدام وحدات بال PAL Units وبين تأثيراتها الملحوظة على الناس .

هذا وتستخدم وحدات زيلر وفيبرار Zeller & Vibrar لتقدير الضرر الذى يلحق بالمبانى نتيجة الاهتزازات .

وقد نوقشت مقاييس ووحدات مختلفة بشىء من التفصيل فى الملحق رقم (١).

ولايعتمد الضغط الواقع على مواد البناء على الطاقة الناتجة عن الاهتزازات فقط ، لكن يعتمد أيضا على طبيعة المادة وموضعها فى البناء.

ونادرا مايتم تقدير الضغوط القصوى المسموح بها على الأبنية بناء على تأثير الاهتزازات على مواد البناء.

وتبين الحسابات البسيطة أن الحد الأقصى للسرعة المسموح بها فى المبانى العادية هو ١٠مم/ث . وذلك طبقا للمواصفات القياسية DIN رقم ٤١٥٠ لسنة ١٩٧٠.

كما أن معدلات الضغوط المسموح بها فى المنشآت التى استخدم فيها مواد الانشاء الواسعة الإنتشار تتراوح بين ٤ر-٢,٢٥٪ .

انظر البيانات التفصيلية فى الملحق رقم (١).

ومع ذلك لو أخذنا فى الاعتبار تركيز الضغط على الشروط الدقيقة ، ووضعه بالنسبة للنماذج الأخرى من الضغوط ، فإن أقصى حد للأمان الذى تدل عليه مثل هذه البيانات قد ينخفض فعليا أو يختفى فعليا.

٧-٥- الاهتزاز المرورى وأثره على المبانى :

Traffic vibration & its effect on buildings

إن حركة مرور وسائل النقل الثقيل " فى شوارع المدن " تسبب اهتزاز الأرض وكذلك الأبنية . وقد سجلت حركة مرور السيارات سعات اهتزاز تراوحت بين ٢-٢٥ ميكرون لكل ترددات تتراوح بين ١٠-٣٠ هيرتز .

وحركة المركبات الكبيرة قد تكون مصدر لترددات منخفضة وسعات اهتزاز كبيرة ، إذ تم تسجيل سعات اهتزاز تراوحت بين ٥-٥٠ ميكرون لكل ترددات تراوحت بين ٧-٨هيرتز، وذلك أثناء حركة الأنوبيسات المحمله بالركاب Loaded buses والجرارات Tractors والمقطورات Trailers.

وتعد وعورة الطريق - عدم استواء سطحه - أحد الأسباب الرئيسية للإهتزازات الناتجة عن حركة المرور .

وقد ثبت أن تعرجا عمقه ٢٠مم يسبب سعة اهتزاز سرعتــه قد تزيد ٥ مم/ث، وهذه السرعة تزيد عن حد الأمـان الموضـوع للمبـانى القديمـة فـى المواصفات القياسية ١٤٥٠.

إن التجارب التى تم تنفيذهـــا بعوائق مجهزة ذات سمك يتراوح بيـن ٤-٣٨مم ، أثبتـــت أن سعات الاهتزاز قد تزيـــد عن ٧٦ ميكـرون لكـل ٨ هيرتز، أى حوالى ٤ مم/ ث.

وهناك عامل آخر شديد الأهمية ، وهو المسافة بين المبانى والطريـق الوعره The road surface irregularity إذ ثبت أن مضاعفة المسافة بيـن المبانى والطرق الوعرة بصفـــة عامة تسبب انخفاض سعة الاهتزاز بمقدار ٢ ميكرون أو أكثر قليلا.

ونادرا ما يعد الاهتزاز المرور السبب الوحيد لتدهور حالة المبانى أو موادهـا ، ولكـن يجـب وضـع تـأثيرات الاهتزازالمرورى فــى الاعتبـار مــع عمليات أخرى مرتبطة بها ، وتؤدى إلـى تلـف المبـانى ، كمـا قـد يحـدث فـى عملية التسارع " العجله " Acceleration وهذه العمليات من الصعب تقديرها باستخدام مصطلحات كمية Quantitative terms.

وفيما يلى ملخص لبعض القواعد العامه التى سبق ذكرها:

- إن تأثير الاهتزاز المرور على العناصر الصغيرة أكبر من تـأثيره على العناصر الكبيرة . كما أن التردد الطبيعـى للأبنيـة عـادة مـا يكـون أكـثر إنخفاضا فى تردد الاهتزازات المرورية ، والرنين الناتج عن هذه الحركة فـى المبانى نادرا مايحدث .

ومع ذلك فإن العناصر المعمارية الفردية ، خفيفة الوزن ، مثل: الأرضيات والأسقف والشبابيك أكثر ميلا لتكبير الرنين كما هو الحال فى العناصر الصغرى ذات الترددات عالية الرنين.

- تعطى هياكل المبانى أقصى سعات للاهتزاز ، وذلك لأنها أكثر بعدا عن الروابط التى تربطها بالمكونات الأخرى للمبانى، مثل : محاور الأرضيات Centres of Floors.

وكمحصله عامة يمكن تحديد العناصر المعمارية الأكثر حساسية للتلف الناتج عن الاهتزاز كما يلى:

- طبقات البياض ، وبصفة خاسة ، تلك الطبقات غير المرتبطة جيدا بالجدران .." أو شبه المنفصله ".

- الجدران المتصدعة .

- العناصرالصغرى فى المبانى غير المرتبطة جيدا بالهيكل الإنشائى، مثل : الجدران الدبش، والجدران المبنية من الطوب غير المترابط جيدا أو المنفصل، إذ أن اهتزاز هذه العناصر قد يطحن المون Grind off the Mortar وقد لاحظ سيور Sior سنة ١٩٦١ أن الاهتزاز عندما يكون قريبا من قيم حد التلف ، فإنه يعمل كعامل حفاز يؤدى إلى زيادة التلف ، الذى يمكن عزوه أو إرجاعه إلى أسباب أخرى ، كضعف الأساسات على سبيل المثال .

أيضا ضغط الاهتزاز قد يتداخل مع أو يؤازر عمليات التلف الفزيوكيميائى ، ويسبب زيادة معدلات تلف المبانى الأثرية ، وكذلك الشروخ التى تنشأ نتيجة الاهتزازات قد تتسع أكثر أثناء دورات الاهتزاز

The vibration cycles ويسقط بداخلها الأثرية ، التى قد تملأها لدرجة أنها لاتسمح بإعادة الوضع إلى ماكان عليه من قبل مرة أخرى .

كما أن زيادة المياه وتسربها خلال الشروخ الدقيقة المتكونة والتى تتسع نتيجة الاهتزاز، قد تتسبب فى عمليات أخرى مدمره ، مثل : تبلور الأملاح وتكون الصقيع ، أو المهاجمة بعوامل التلف الكيميائى التى ربما تمتد داخل مواد البناء نفسها أو تتخللها .

وغالبا ماتستخدم مقاييس ZELLER & VIBRAR لتقدير التأثيرات الضارة للاهتزازات على المبانى ، ويصعب استخدام مقاييس الزلازل Seismic scales بدلا منها، لدراسة الاهتزازات المرورية ، لأنه وكما يحدث فى الزلازل فإن الترددات الأقل ، والسعات الأوسع قد تكون متشابكة والقياسات تكون مشوشه .

كما أن حد الاهتزاز المقبول فى الأبنية التاريخية أو ذات القيمة الفنية – على وجه الخصوص – يكون منخفضا ..

وقد يحدث التلف فى طبقات الجص ، وهذا مايمكن قبوله ، حتى لو أن الهيكل الأساسى للمبنى لم يتأثر ، وتكون المشكلة خطيرة عندما يكون الجص مزخرفا أو مرسوما عليه رسوم زيتية.

وخير مثال على ذلك فيلا Farnesina فى روما ، حيث تلفت الصور الجدارية Mural paintings التى كان قد رسمها الفنان رافانيللو وتلامذته ، على جدران هذه الفيلا ، بسبب الاهتزازات الناتجة عن حركة المرور ، والتى كادت أن تؤدى إلى تلفها بالكامل .

وفى عام ١٩٧٠م ، فى محاولة لحل مشكلة الطريق القريب من فيلا Farnesina أوالمجاور لها، ثم إعادة بناء هذا الطريق كاملا ، مع تعليقه على كتل مطاطية ، وذلك بطول ٦٠م.

وفى النهاية، يجب التأكد ، على أن حدود الأمان Safty limits المطبقة على المبانى العادية ، يجب ألا تطبق أوتوماتيكيا على المبانى الأثرية ، وذلك طبقا لما هو موضح فى المواصف القياسية رقم ٤١٥٠.

مثال جيد على ذلك ، يتضح من الاجابة على سؤال ، سئل فى عام ١٩٠٠م عن مدى تأثير سكة حديد لندن المركزية على المنازل المجاورة لها فى منطقة هايدبارك The Hyde Park Area إذ وجد أن سعات الاهتزاز نادرا ماتزيد عن ٢٥ ميكرون عندما تتراوح الاهتزازات بين ١٠،١٥ هيرتز.

وبناء على ذلك ثبت أن تلف هياكل المبانى مستبعد الحدوث ، لكن البيانات وضحت فى نفس الوقت أن نهايةالسرعة Peak velocity تصل إلى ٢,٥مم/ث .

وحسابيا فإن هذهالسرعة غير مقبوله فى المباني الأثرية وذلك طبقا للمواصفة القياسية ٤١٥٠ لسنة ١٩٧٠م.

٥-٨- صدى الصوت Sonic Boom:

الموجات الصوتية التى تحدثها حركة سير الطائرات عندما يكون سرعتها أسرع من الصوت ، تؤدى إلى ضغوط عالية على المبانى تلحق بها العديد من الأضرار .

وقد سجل فى عام ١٩٦٢ م فى مدينة New Nexico أعلى ضغط لصدى الصوت ، إذ وصل إلى ٢٠٠٠ نيوتن لكل متر مربع $2000\ N/m^2$.

وقد أثبتت الدراسات التى أجريت على طائرات من نوع كونكورد Concord أن الضغوط الناتجة عن تخليق هذه الطائرات ذات السرعة الأعلى من الصوت ، غالبا ماتكون أقل من مائة نيوتن لكل متر مربع $100\ N/m^2$.

وتتركز إحتمالات تلف المبانى بسبب ضغط صدى الصوت، بصفة خاصة، على المواد ذات السطح الكبير والسمك الصغير Large suface & small mass وأيضا على المواد غير مسبقة التحميل Not Pre - Loaded والتى تنخفض فيها مقاومة الشد Low tensile strength.

لذلك فإن ضغط صدى الصوت يؤثر أولا فى الجدران التى تغطيها طبقة بياض Plaster خاصة إذا كانت منفصلة، أو شبه منفصله عن الجدران. يلى ذلك حدوث تلف فى الزجاج ، وفى النهاية يحدث تلف للأسقف، ونادرا مايحدث التلف إذا كانت قيم أقصى ضغوط لصدى الصوت على المبانى أقل من ٥٠٠ نيوتن لكل متر مربع $500\ N/m^2$.

لكن تأثير الرنين المصاحب للموجات فوق الصوتية على مواد الإنشاء، قد يكون مقدمة لبعض الاتساعات المصاحبة للاهتزازات .

وغالبا مايسمى زمن الموجات الصوتية : العلامه الفاصله Signature interval وذلك يعتمد على نوع الطائره ... فمثلا زمن الموجه الصوتية للطائرة كونكورد ٠,٣٥ ث .

لذلك فإن مواد الإنشاء ذات التردد الطبيعى الذى يصل إلى ٣ هيرتز يخضع للزيادة بسبب تعرض المبنى للاهتزاز الناتج عن الرنين .

كما أنه فى حالات الاهتزازات الأخرى فإن نوع المبنــى وحالتـه مهـم جدا فى تحديد مدى التلـف الـذى يحـــــدث بسـبب تـأثير الموجـات الصوتيـة . The sonic wares

ملحق الاهتزاز رقم (١)

أ- التردد الطبيعى للمبانى - الرنين :

Natural Frequency of buildings- Resonnance:

لو أن Tn الزمن الطبيعى للذبذبة و Fn التردد الطبيعى فإن :

$$F_n = \frac{1}{T_n}$$

وقد أمكن بالتجربة حساب زمن التردد الطبيعى فى المبانى وذلك عـن طريق التعويض فى المعادلة الآتية :

$$T_N = \frac{\text{number of storeys}}{11}$$

وفيما يلى أمثلة لبيانات عن الترددات الطبيعية ومنهما فى المبانى

Low Buildings	F_N = 10Hz
Towers 30-40 m	F_N (bending) = 1.64 ÷ 2.86 Hz
Skyscrapers	F_N = 0.2 ÷ 0.5 Hz T_N= 5 ÷ 2 Sec
Empire State Building	T_N = 8.25 Sec
New severn Bridge (vert. flex.)	T_N = 7 sec f_N = 0.14 Sec
Long Creek Bridge (Canada)	F_N= 0.6 Hz A = 200 mm

كما أن التردد الطبيعي للعديد من الأرضيات والبلاطات يتراوح بين ١٠-٣٠ هيرتز .

والملاحظ أن إستمرار الاهتزازات يحث الترددات الطبيعية فى المبانى على الاستمرار ، وعندما يتكرر حدوث إثارة بواسطة الاهتزازات (f) التى تكون قريبة من الترددات الطبيعية فى المبانى (f_n) فإن سعة الاهتزازات المثاره سوف تزداد . وهذه الظاهرة تسمى : الرنين Resonance . وهذا الاتساع Amplification الذى يحدث نتيجة الرنين يعتمد على : عامل الوهن Damping factor فى المبانى (D).

ومن المفترض أنه فى معظم المنشآت وفى مواد البناء يكون الإتساع مساويا لنصف عامل الرطوبة (½ D).

ويمكن قياس اتساع الرطوبة عن طريق الإثارة الاصطناعية للمنشأة ،وبعد ذلك يتم عد الدوائر المطلوبة حتى تنقص إلى النصف وذلك للحصول على القيمة الأساسية Initial value .

ولو أن (N) ترمز لهذا العدد .. فإن :

AMPLIFICATION = 4,35 N السعة

كما يوجد طريقة أخرى أكثر دقة يمكن عن طريقها قياس اتساع الرنين ، وذلك بحساب عدد الدوائر (N_1) المطلوبة لانقاص التردد إلى عشر (١٠/١) القيمة الأساسية ، وفى هذه الحالة تكون

AMPLIFICATION = 1.365 N_1 السعة

ب- شدة الاهتزاز - ووحدات بال وزيلر وفيبرار

Intensity Of Vibration , Pal, Zeller & Vibrar Units

الشدة ووحداتها (K) يمكن تعريفها كما جاء فىالمواصفات القياسية الألمانية رقم ٤١٥ الصادرة عام ١٩٧٠ م عن طريق المعادلة الآتية :

$$K = \frac{0.005\ A f^2}{\sqrt{100 + f^2}} = \frac{0.8\ V f}{\sqrt{100 + f^2}} = \frac{0.125\ a}{\sqrt{100 + f^2}}$$

مع ملاحظة أن التجريب يكون (0.1) للشدة أى : $K = 0.1$

وقد وضعت المواصفات القياسية حدود مسموح بها فى الليل وفى النهار لمختلف القطاعات فىالمدن ، مع الوضع فىالاعتبار منذ البداية العوامل البشريه The Human factors.

هذا وقد عرفت شدة الاهتزاز Strength of vibration من قبل عام ١٩٣٩ فى المواصفات القياسية الألمانية ٤١٥٠ بوحدات بال (Pal units) كما يلى :

$$\text{Strength (Pal)} = 20 \log 2.24\ V$$
$$\text{Strength (Pal)} = 20 \log 14\ Af.$$

حيث أن : (V) قمة أو نهاية السرعة .

(A) السعة

(F) تردد الاهتزاز

مع العلم بأن : السرعة تقاس بالمليمتر لكل ثانية mm/Sec والسعة تقاس بالمليمتر mm . كما أن مقياس (بال) أيضا يهتم بصفة أساسية بالتأثيرات على الناس ، والاهتزازات التى تتراوح شدتها بين (١٠-٢٠ بال) يمكن معرفتها بالملاحظة العامة Generally perceptible وعندما تتراوح

الاهتزازات بين (٢٠-٣٠ بال) يمكن اعتبارها غير مقبوله للناس أو الأشخاص داخل المباني .

أما نظام زيلر Zeller - ١٩٣١-١٩٤٩ - فيهتم بصفة أساسية بما يتعلق بتأثير الاهتزاز على المباني .. وقد أعطى زيلر وحدة طاقة سميت باسمه ، يعبر عنها بالمعادلة التالية :

$$Z = 16\pi^4 A^2 f^3$$

وذلك عندما يتم قياس السعة (A) بالملليمتر .

وقد رسم زيلر بذلك مقياس يماثل مقياس (Mercalli - Cancani) المستخدم في قياس الزلازل ، حيث يتم مقارنة قيمة طاقة الاهتزاز مع تأثيرها على المباني ، من خلال اختبار حالات الاهتزاز وتقدير قيمها .

وأخيرا وصفت وحدة زيلر طبقا لأشكال حد المرونة المبسطة ووحدة جديدة تسمى : وحدة فيبرار Vibrar حيث أن :

$$Vibrar = 10 \log Z/10$$

وقد تم صياغة مقياس فيبرار لقياس تأثير الاهتزاز على المباني ، بمعرفة (كوخ Koch) عام ١٩٤٩م.

وفيما يلي قائمة توضح نوع التلف الذي يحدث للمباني بناء على طاقة الاهتزاز.

جدول رقم (٥) يوضح

طاقة الاهتزاز والتلف الناتج عنها

No.	Vibrar	Damage
1	Below 30 vibrar	No structural damage
2	30-40 vibrar	Light damage (for example cracking in rendering or plaster)
3	4-50 Vibrar	Severe damage (for instance cracking in load bearing walls).
4	50-60 Vibrar	Destruction of buildings

وقد اقترح سيور Sior عام ١٩٦١ أن بداية الدرجات (٣، ٤) فى مقياس فيبرار يمكن أن تتغير حتى تصل إلى (٥٥) فيبرار .

ج - الضغط Stress :

ضغوط العمل المسموح بها على مواد البناء الأساسية هى كما يلى:

Steel	140 N.mm^2
Concrete	6-15 N.mm^2
Timber	12 N/mm^2

علما بأن 1Kg = 10 N N = Newton

وقد بين جاش Gasch عام ١٩٦٨ م علاقة مبنية على التجربة بين النهاية العظمى للضغوط الديناميكية (max) وسرعة الاهتزاز (V) توضحها المعادلة التالية :

$$\delta \max = KV \quad E \ \rho$$

علما بأن :

E = معامل ينج لقياس المرونة

ρ = كثافة الكتلة للمادة

K = مقدار الأبعاد

والأخير يعتمد على القطاع المعتمد لمادة البناء .

والقيم النموذجية Eρ K فى القطاعات المربعـة أو المسـتطيلة للعديد مو المواد موضـحة فيما يلى :

Steel	0.07 N.S/mm^3
Cast Iron	0.046
Granite	0.022
Concrete	0.015
Brick Masonry	0.0038
Timber	0.0039÷0.0054

******

الفصـــــل الســـــادس

الروابـط Binders

٦-١- الجبس Gypsum:

استخدم الجبس فىمصر بين كتل أحجار البناء كمونه كما فى الأهرام كما استخدم كذلك فى البياض وذلك منذ حوالى ثلاث ملايين سنة قبل الميلاد.

أيضا يرجع تاريخ استخدام الجبس فى Mesopotamia إلى أزمنة مبكرة جدا .

ويتم تجهيز جبس البياض بتسخين خام الجبس أو أحجار السيلينيت Selenite التى تحتوى كل منهما على كبريتات الجبس المائية فى درجة حرارة متوسطة " At moderate temperatures حيث يتحول الجبس المحتوى على جزيىء ماء $2H_2O$ إلى جبس يحتوى على نصف جزيىء مـــاء ½ H_2O وذلك طبقا للمعادلات الكيميائية الآتية:

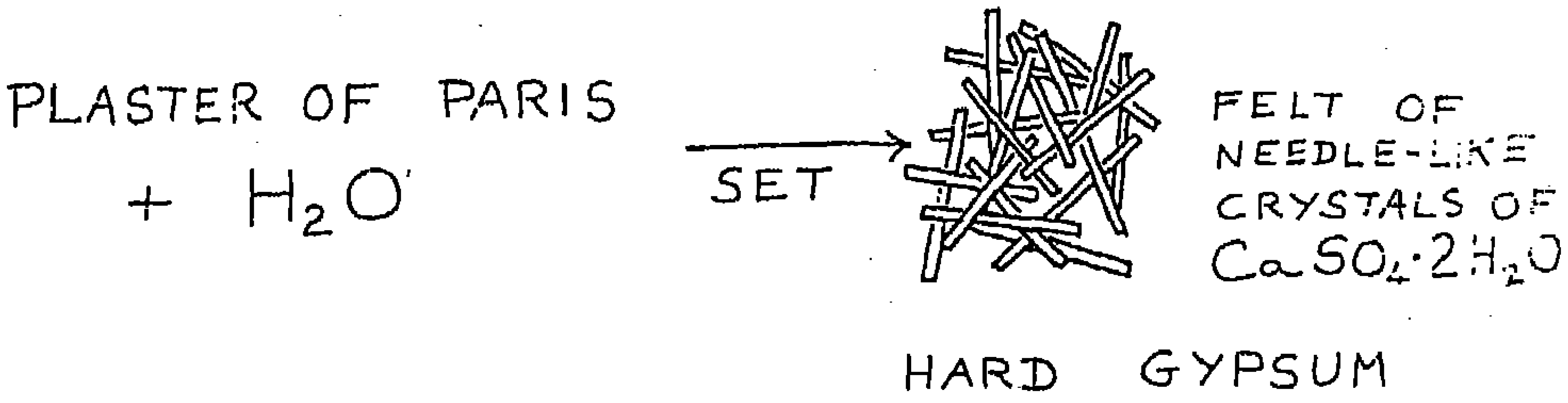
$$CaSO_4 . 2H_2O \xrightarrow{130°C} CaSO_4 . 1/2\ H_2O + 1.5\ H_2O$$

Di-Hydrate → Hemi- Hydrate

Gypsum → Plaster of Paris

والجبس الذى يحتوى على نصف جزيىء ماء يسمى : جبس باريس أو بياض باريس Plaster of paris ويتم تجهيزه بتسخين الجبس المائى فى درجة حرارة تتراوح بين ١٥٠-١٦٠ ° م.

والجبس الباريسى يشك بسرعة عندما يخلط أو يضاف اليه الماء ، ويتحول إلى جبس مائى ويأخذ شكل بلورات إبريه تشبه اللباد بعد الشك كما



شكل رقم (٣٥) يوضح

شك الجبس الباريسى

ونتوقف سرعة شك الجبس المنتج على حالات تسخين الجبس الخام ودرجات الحرارة داخل الأفران .

وبصفة عامة يوجد نوعين من أنواع الجبس نصف المائى التى تحتوى على أشكال مختلفة من البلورات ولها معدلات مختلفة عند التفاعل مع الماء.

النوع الأول : الفاهيمى هيدرات α - Hemi-Hydrate :

ويسمى جبس نصف مائى متبلور Crystalline Hemihydrate ويتم تجهيزه بتسخين الجبس فى الأوتوكلاف Autoclave تحت درجة عالية من الضغط فى وجود بخار الماء.

هذا النوع من الجبس يتبلور جيدا، ولايكون كثير المسام ويتحد ببطء شديد مع الماء.

النوع الثانى: بيتاهيمى هيدرات β -Hemi-Hydrate :

ويسمى جبس نصف مائى دقيق المسام Microporous Hemi Hydrate ويتم تحضيره فى جو جاف .

هذا الجبس تكون بللوراته صغيرة، ويحتوى على مسام ذات أبعاد كبيرة نوعا ، ويتحد بسرعة أكثر مع الماء .

- شك الجبس The setting:

تتوقف سرعة شك الجبس - كما سبق الذكر - على حالات تسخين خام الجبس ، ودرجات الحرارة داخل الأفران . وفى سياق تفاعل الشك بل أثناء هذا التفاعل يسخن الجبس ويفقد قليلا من ماء الخلط بواسطة التبخر Evaporation لذلك يتغير حجم الجبس أثناء الشك ، فى هذا الوقت يقوم الجبس بتعويض هذاالتغير فى الحجم عن طريق نمو البللورات المكونة له ، يحدث ذلك بواسطة عملية التميؤ Hydration.

لذلك فإن عملية شك الجبس يصاحبها حدوث تمدد بسيط يظهر ذلك واضحا عند عمل قوالب من الجبس Nake moulds ويكون مفيدا جدا لأننا لانحتاج لاستخدام موالىء Fillers حتى يمكن تجنب التقلص أو التشقق Contraction & Cracking.

هذا ويمكن تسريع عمليات شك الجبس عن طريق اضافة تراب الجبس Gypsum dust - الجبس الجاف - أو الملح، أثناء عمليات الخلط ،

فى حين يمكن تأخير زمن شك الجبس ، بإضافة مواد عضوية ،مثل : الغـراء أو النشا.

لو الجبس أو جبس باريس سخن لدرجة أعلى من ١٦٥-١٧٠ °م يتم ازالة الماء المتبقى منه وتتكون كبريتات الكالسيوم غير المائيـة Anhydrous calcium sulphate (Anhidrite) وذلك طبقا للمعادلة التالية :

$$CaSO_4 \cdot 2H_2O \xrightarrow{\text{over } 170^{\circ}C} CaSO_4 + 2H_2O$$

gypsum　　　　anhydrite

والأنهيدرايت جبس لامائى يمكن أن يتحول إلى جبس مـائى لكـن فـى الواقع يتم ذلك ببطء، إلا أنه يلاحـظ أن الجبـس المـائى يمكـن أن يتحـول إلـى جبس غير مائى تلقائيا فى الأجواء الحارة الجافة مثل : الصحراء المصرية.

ولأن كبريتات الكالسيوم تذوب ببطء فى الماء فـإن الجبـس لايسـتخدم عادة فى الأسطح المعرضة (المكشوفة) فى الأجواء الرطبة .

٦-٢- الجير Lime:

ثبت استخدام الجير فى العصـر الحجـرى الحديـث حيث تـم اكتشـاف بياض الجير.

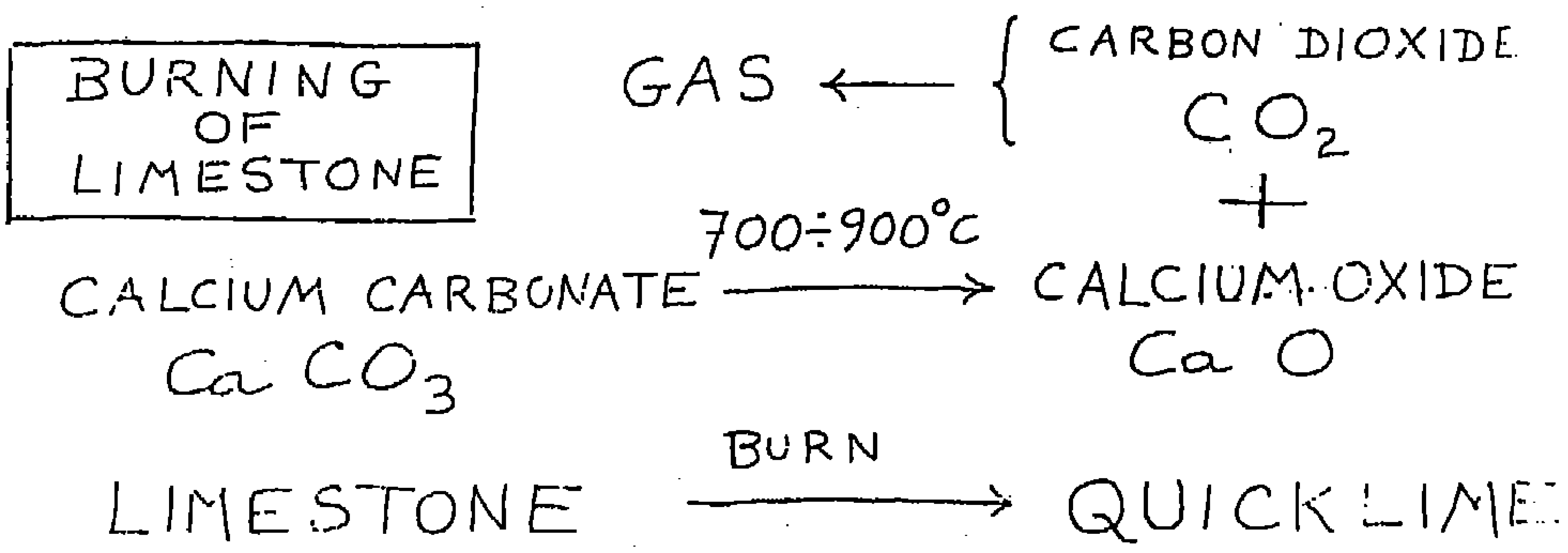
وفى العصور التاريخية ظهـر بيـاض الجيـر فـى الحضـارة الميسـينيه والمينويـه Mecenean & Minioc civilization وذلـك فـى قصـر Knossos الذى يرجع إلى عام ١٧٠٠ ق.م.

وفى مصر بدأ استخدام الجير متأخرا قليلا حيث اسـتخدم فـى العصـر البطلمى ٣٠٠ ق. م .

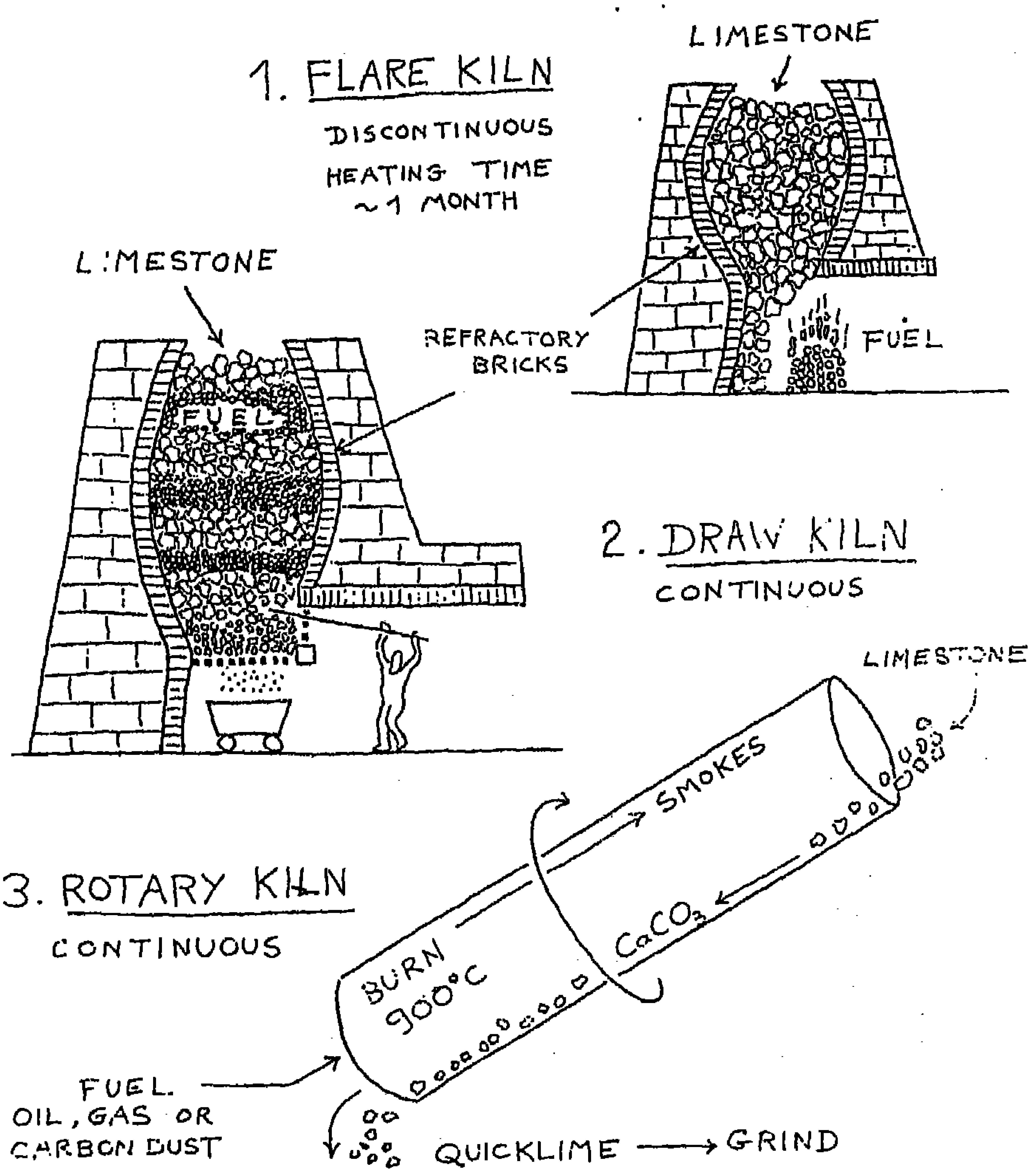
وكانت المون قديما تحتوى على كل من الجير والجبس، كما كان يتم صناعتها بداية عن طريق خلط معادن تعطى صفات الجبس والجير.

ويتم تجهيز الجير فى درجات حرارة عالية ، أعلى من درجة حرارة تجهيز جبس باريس ، لذلك فإن استخدام تكنولوجيا صناعة الجير كانت غير مستحبة فى معظم الأحيان .

ويصنع الجير بحرق الجير الذى يحتوى أساسا على كربونات الكالسيوم فى درجة حرارة ٧٠٠-٩٠٠ °م فى أفران خاصة ، أصبحت الآن أكثر تقدما - انظر الشكل رقم (٣٦) لينتج فى النهاية الجير الحى ، وذلك طبقا للمعادلات الكيميائية التالية :



مع ملاحظة أن الحجر الجير إذا سخن لدرجة حرارة عالية جدا Over Heated فان الجير الذى نحصل عليه بعد ذلك لايتحد جيدا معالماء ، ويكون كتل Formation of lumps أيضا يجب العلم بأن الرخام مصدر غير مناسب لكربونات الكالسيوم ، لأن حبيباته الكبيرة تشكل كتل من الجير الحى صعبة الاطفاء .



شكل رقم (٣٦) يوضح

أفران صناعة الجير

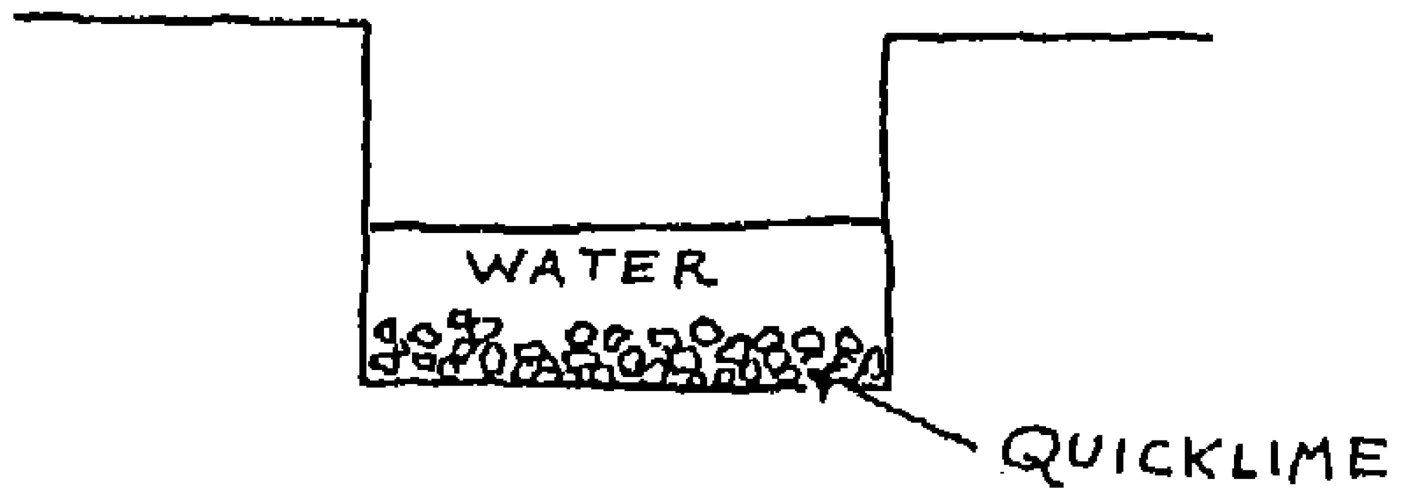
- طفى الجير **Slaking:**

عملية طفى الجير هى : عملية تفاعل بيـن الجـير الحـى والمـاء وهـذا يتضـح من المعادلة الآتية :

calcium oxide	→	calcium hydroxide
$CaO + H_2O$	→	$Ca(OH)_2$
quicklime	→	slaked lime

هذا التفاعل ينتج عنـه حـرارة ، وإذا تمـت عمليـة إطفـاء الجـير بدقـة يمكن أن نـحصـل على جير جيد . ولو استخدمت الكمية الصحيحة من المـاء ، يمكن أن نـحصـل على هيدروكسيد كالسيوم فى شكل جير متميىء Hydrated على شكل بودره ، ولو أضيف إلى بودره الجير كمية أخرى من الماء نحصل على كتلـه شـحميه ناعمـة A Soft greasy mass تسـمى : عجينـة الجـير Lime paste.

ويتم طفى الجـير فـى حفـر تسـمى : حفـر الجـير Lime pits انظـر الشكل رقم (٣٧) حيث يمكث عدة شهور أو عام كـامل . وكلمـا طـالت فـترة طفى الجير كلما تحسنت خواصه ، حيـث أن طـول فـترة الطفـى تسـهل النمـو الصفانحى لبللـورات الجير وتحسـن مـن خاصيـة اللزوجـة Plasticity فـى عجينة الجير .



حفرة طفى الجير

ويلاحظ أن الجير المطفأ لايستخدم وحدة ، لكن دائما يستخدم معه مادة مالئة لكى يمكن تجنب التشققات To Avoid Cracks .

- عملية تصلب الجير Hardening:

تحدث عملية تصلب أو شك الجير المطفأ عن طريق تفاعل ثانى اكسيد الكربون الجوى مع الجير وتبخر الماء . ويتضح ذلك من المعادلة الأتيـــــة:

from the air		evaporates
↓		↑
$Ca(OH)_2 + CO_2$	→	$CaCO_3 + H_2O$
slked lime	→	carbonated lime
(soft)		(hard)

من أجل ذلك فإن عملية الشك تتطلب اتصال مع الهواء وجفاف تدريجى. مع ملاحظة أن فقد الماء يسبب تقلص أو إنكماش فى حجم الجير.

- مونة الجير Lime mortar:

الرمل هو المالىء النموذجي فى مون الجير ، ويجب غسل الرمل جيدا قبل استخدامه وذلك للتخلص من الأملاح التى قد تسبب ظاهرة التزهر Efflorescences وأيضا لازالة الطفل والمواد العضوية التى تسبب فى بطء عملية الشك.

وفيما يلى نذكر مثال جيد لمونة جير:

المـــواد	الكمية بالحجم	الكمية بالوزن
- جير مطفأ	١	١٥
- رمــل	٢-٣	١٠٠
- مــاء	حسب الطلب	

مع ملاحظة أن خلط المون بنسب صحيحة ضرورى جدا .

وقد لوحظ أن مونة الجير تصبح جيدة التشغيل إذا أضيف الماء اليها بكميات مناسبة ، وفى المقابل تتحسن الخواص الميكانيكية للمونة بعد تصلبها إذا قلت كمية الماء المضاف اليها .

كما أن خاصية التشغيل Workability يمكن أن تتم بدون فقد زائد لمتانة المون ، وذلك من خلال استخدام مسيلات Fluidizers ويفضل دائما الماء، لأن أقل كمية منه تسمح باستخدامه بدون تـأثير على عملية التشغيل .

أيضا فإن طاقة الخلط Energetic mixing الناتجة عن احتكاك مواد المون بالهواء تعمل على تحسين خواص التشغيل بدون إضافة زيادة من الماء.

ويحتاج عامل البناء A mason إلى خبرة كبيرة لكى يحقق التوازن بين خاصيتى التشغيل والقوة أو المتانه Workability and strength .

وتجدر الاشارة إلى أن الصعوبة الكبيرة فى استخدام مون الجير تكمن فى حقيقة أن تصلب المون يكون بطيئا جدا ، وربما لاتتصلب كلية فى الجو الرطب جدا، حيث أن الجفاف شرط أساسى من شروط تصلب مون الجير .

لذلك فإن صعوبة شك مون الجير تحد من استخدام الجير النقى فى الوقت الحاضر، وتشجع إضافة مركبات هيدروليكية تسهل عملية الشك أو التصلب فى الجو الرطب ... مثل: خلط الجير مع البوزولانا أو خلط الجير مع الأسمنت .

ويجب أن نذكر فى هذا المجال أن الخواص الميكانيكية والفيزيائية لمون الجير الحالية ، تقرب من الخواص الميكانيكية والفيزيائية لمون الجير التى استخدمت فى المبانى القديمة .

لذلك يفضل استخدامها فى أعمال الصيانة والترميم لهذه المبانى خاصة إذا تم حل المشكلات التكنولوجية الأساسية حلا مرضيا.

٦-٣- المون الهيدروليكية Hydraulic Mortars:

تتصلب المون الهيدروليكية أو تشك عن طريق تفاعل كيميائيى مع الماء ، بدون حاجة إلى الهواء الجوى ، على عكس المون العادية ، التى يتطلب شكها الهواء الجوى.

وتصنع المون الهيدروليكية من المركبات المائية التى تشك كاملة تحت الماء ، وعندما تتصلب تقاوم عوامل التلف فى الماء العذب أو ماء البحر. لذلك تستخدم هذه المون فى الأعمال التى تتطلب أو التى تنفذ فى البحر أو فى المجارى المائية بشكل عام . مثل : القناطر والسدود .

- الطريقة الأولى لتحضير مون الجير الهيدروليكيه

Hydraulic lime mortars:

من الممكن أن يكون الجير مون هيدروليكية إذا تفاعل مع السليكا SiO_2 أو الألومينا AL_2O_3 . هذا التفاعل ممكن حدوثه فقط عند درجات حرارة عالية ، كما يحدث فى أثناء صناعة الأسمنت.

ومن الممكن أن يتم التفاعل فى درجة حرارة الغرفة لو استخدم مكونات نشطه جدا مع السيليكا والألومينا ، كما حدث عند صناعة الأسمنت الرومانى القديم Ancient Roman Cement.

فى الحقبة الهيلينستيه Hellenistic period حوالى القرن الرابع قبل الميلاد، تم اكتشاف بعض الاتربات البركانية الأصل، وذلك فى مناطق البراكين، وعندما خلط تراب البراكين مع الجير المطفأ نتجت مونه تصلبت تماما فى الجو الرطب جدا .

ويلاحظ أن كل المواد التى تنتج مون هيدروليكية مع الجير المطفأ تصمم على أساس الاتربات البركانية ، ويطلق عليها اسم : مواد بوزولانيه Pozzolanic materials أو بوزولانا Pozzolana نسبة إلى مدينة بالقرب من نابلى تسمى : Pozzuoli.

ومن أهم المواد البوزولانيه الطبيعية التى استخدمت فى العصور القديمة البوزولانا Pozzolana وحجر توف tuff الموجود فى جزيرة سانتورين أحد جزر بحر إيجه Aegean islands وحجر الخفاف Pumice وحجر طراس Trass الموجود فى حوض نهر الراين الأدنى Rhine region.

هذه المواد البوزولانيه تحتوى على سيليكا والومينا فى حالة نشطه لأنها صهرت فى البراكين ، وبعد ذلك خرجت إلى الهواء الذى بردها بسرعة، لذلك تكون غالبا زجاجية النسيج، وتحتوى على فقاعات غاز ، كما تكون غير بللوريه ، وغير ثابتة كيميائيا ، لها سطح نوعى كبير.

عملية التفاعل التى تتم بين الجير المطفأ والمواد البوزولانيه يمكن تلخيصها فى المعادلة التالية :

CH	+ A.S	+ H →	CSH	+ CAH
Slaked Lime	Reactive Alumina & Silica	Water	calcium Silicate Hydrate	Calcium Aluminate Hydrate

مع ملاحظة أن هذه الرموز السابق ذكرها فى المعادلة ، هى نفسها الرموز المستخدمة فى كيمياء الأسمنت وموضحة فى الجدول رقم (٦).

كما لوحظ أن سيليكات الكالسيوم المائية الناتجة عن التفاعل السابق تكون شبكة من بللورات ليفيه Fibrous crystals أو مواد أمورفيه جيلاتينيه Gelatinous amorphous materials وهذه يمكن اعتبارها السبب الرئيسى فى تصلب المونه .

وقد استخدمت أنواع أخرى من المواد البوزولانيه الصناعية أيضا فى العصور الكلاسيكية ، وبصة خاصة ، خبث الحديد Iron slag ومسحوق الطوب الأحمر أو كسر الفخار ، وهذه مواد قليلة التفاعل ، إلا أنه يجب ملاحظة أن هذه المواد عندما تخضع لدرجات حرارة عالية ، تصبح بعض أجزائها فى حالة زجاجية Vitrified.

هذا ومازالت المواد البوزولانيه مستخدمة فى التقنيات الحديثة كإضافات حديثة لمواد تقليدية ، مثل : الرماد Fly ash كما أنه أحيانا تضاف البوزولانا للأسمنت الحديث لتحسين مناعته للماء المحتوى على الكبريتات .

وفى الحقبة الرومانية : سمح استخدام المركبات الهيدروليكية بتنفيذ الأعمال المائية ، كما استخدمت فى تسليح القوالب المستعملة فى النماذج الخشبية Concrete casting in wooden moulds .

وفيما يلى نذكر نموذج لخليط مونة تستخدم فى عمل القوالب المكبوسه وتسمى : الخرسانة الرومانية Roman concrete هذا الخليط يتكون من :

- جير Lime
- بوزولانا Pozzolanna
- كسر طوب أو بلاطات Broken Bricks or tiles

هذا ويمكن انتاج الخرسانة خفيفة الوزن باستخدام حجر الخفاف كماده مالئه Aggregate بدلا من قطع الفخار Terracota

مثال ذلك: قبة البانثيون فى روما The pantheon in Rome

وحديثا أنتجت التكنولوجيا مواد بوزولانيه قويه أو لها قدرة فائقة على التحمل Astrong & durable materials.

فى العصور الوسطى ظهرت بدايات تكنولوجيا الخرسانة والمون الهيدروليكية ، حيث كان يتم ملىء الفراغ بين سمك الجدران وفى الحوائط المزدوجه فى المبانى التاريخية ، بالدبش المخلوط بمواد هيدروليكيه .

وقد نقلت المعلومات التكنولوجية عن المـون الهيدروليكيـة مـن خـلال مذكرات Vitruvius فى رسالة عن بداية عصر النهضة فـى القـرن الخـامس عشر، فى بداية الثورة الصناعية ، حيث أنه أثناء تطوير الموانىء ، والطرق، وقنوات المياه ، تطلب استخدام كمية كبيرة من الخرسانة الهيدروليكيه .

ويجب أن نعلم أن تكنيـك الخرسـانة الهيدروليكيـه مـازال مناسـبه للاستخدام فى العصر الحالى ، لكن المواد مازالت نادرة .

وقـد اسـتخدم المعمـاريون الانجليز مـواد بوزولانيه فـى بنـاء دعامـة Pier جديدة فى ميناء Tangiers عام ١٦٦٩م وذلـك بالاسـتعانة بمستشـارين إيطاليين .

وفى شمال انجلترا استخدام حجر الطراس أو خبث أفران الحديد بـدلا من البوزولانا .

- الطريقة الثانية لتحضير مون الجير الهيدروليكية :

يتم بالتفـاعل بين الجيرأ الحجـر الجيرى مـع السيليكا أو الألومينـا ، درجـة حـرارة عاليـة جدا، ويحتمـل أن هـذه الطريقـة عرفت منـذ العصـور الوسطى ، حيث كان يتم جلب الحجر الجيرى غير النقى من المحجـر ثـم يتـم حرقه للحصول على الجير الحـى، والجير الحـى النـاتج بعد الحـرق مباشـرة يخلط بالماء فى الحال ، ثم يستخدم مباشرة حيث يتصلب بسرعة تحت الماء.

وفـى عـام ١٧٩٦ م حصـل Parker علـى بـراءة اخـتراع الأسـمنت الرومانى Roman cement الذى أنتجـه فـى درجـــة حـرارة تصـل إلـى ٨٠٠ °م.

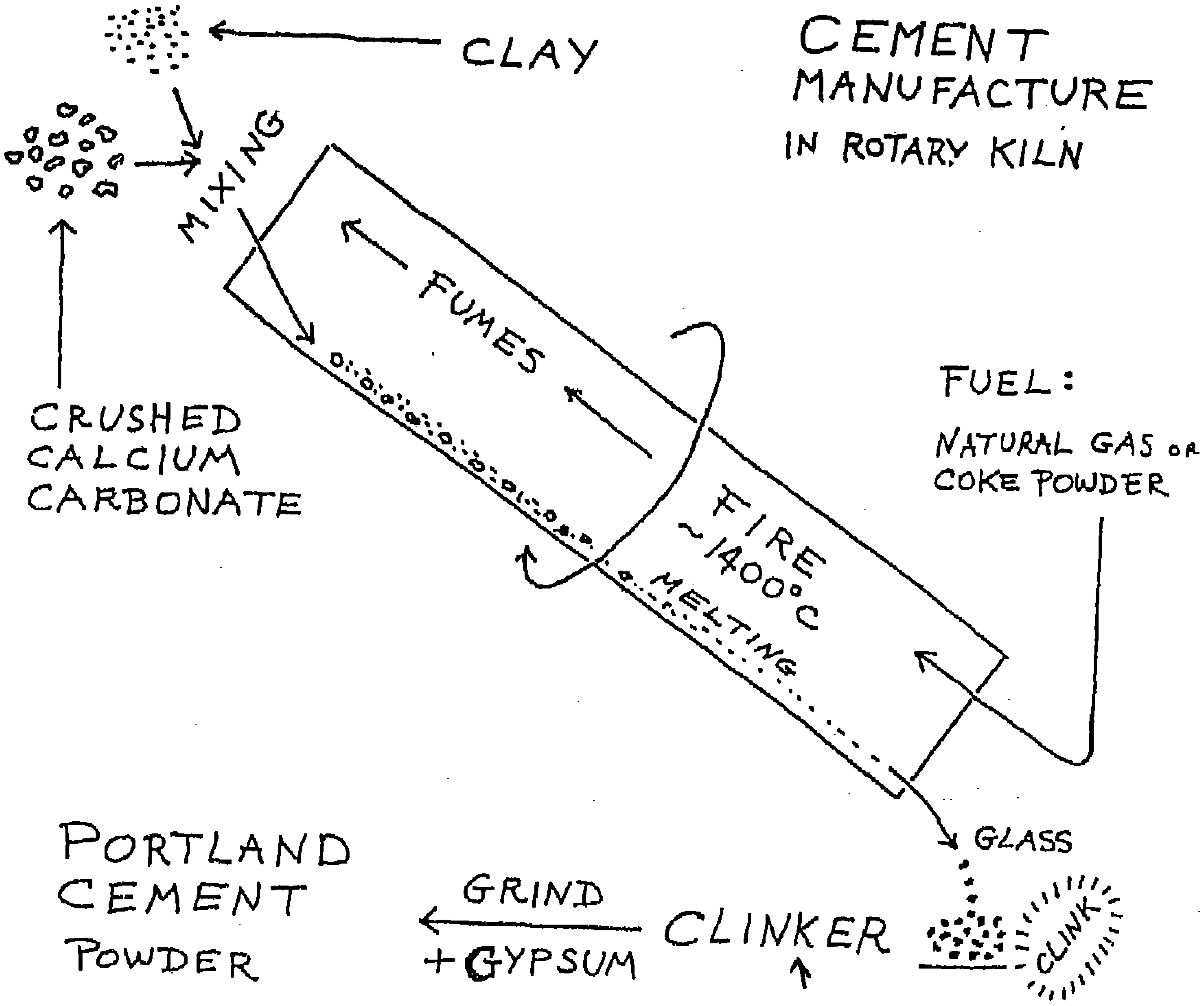
كما أنتج Frost ١٩١١م و Vicat ١٨١٨م مواد هيدروليكية عن طريق حرق المارل (حجر طينى جيرى) أو خليط من الطفلة والطباشير.. وقد أطلق على هذه المواد الهيدروليكية اسم الجير الهيدروليكى Hydraulic lime.

٦-٤- الأسمنت البورتلاندى Portland cement:

حصل أسبدن Aspdin ١٨٢٤ م (وهو انجليزى الجنسية) على براءة اختراع الأسمنت البورتلاندى ، وقام بتصنيعه عن طريق حرق الحجر الجيرى، ومسحوق الجير المحتوى على الطفلة، وأعاد تسخين الخليط فى درجة حرارة تراوحت بين ١٠٠٠ - ١٢٠٠ °م - والمنتج النهائى سمى الأسمنت البورتلاندى ، لأن لونه كان يشبه حجر البورتلاند Portland stone وقد كان هذا المنتج أقل جودة إذا ماقورن بالمواصفات الحديثة للأسمنت .

التطور التكنولوجى للأسمنت حدث بمعرفة مساعد أسبدن ويدعى Jonson عام ١٨٣٨م حيث اكتشف جونسون أن زيادة درجة إحراق مواد الأسمنت بحيث تتراوح درجة الحرارة بين ١٤٠٠-١٥٠٠ °م تسبب انصهار جزئى للسيليكات وتصبح زجاجية بعد التبريد .

وحديثا يستخدم الفرن الدوار لصناعة الأسمنت . انظر الشكل رقم (٣٨).



شكل رقم (٣٨) يوضح

خطوات صناعة الاسمنت البورتلاندى بواسطة الفرن الدوار

حيث تخلط الخامات بعد فرزهـا، بالنسب الصحيحة، وتوضع داخل الفرن الذى تصل درجة حرارته إلى ١٤٠٠ °م. وتخرج الخامات من الجانب الآخر فى شكل كتل زجاجية تسمى كلنكر Clinker يتم تسلمها من الفرن، هذه الكتل سريعة التفاعل مع الماء، وعند شكها تكون كتلة لدنه من مادة هشه نوعا فى وقت قصير .

وبالرغم من ذلك فإنه بعد عدد قليل من الأيام قد تتكون مادة صلبة نوعا ما، وتستمر تفاعلات الشك داخل المادة ويستمر معها تحسن الخواص الميكانيكية .

وعادة تحدث اختبارات صلاحية الأسمنت بعد حوالى شهر من الصناعة، هذا على الرغم من أنها تتم كل ستة أيام . وطبقا للأساس النظرى فإن عملية شك الأسمنت تتم بداية داخل الأفران حيث تتكون سيليكات والومينات الكالسيوم ، نتيجه لتفاعل الجير الناتج عن اضافة الحجر الجيرى ، مع السيليكا الموجودة فى الطين – كما هو واضح من المعادلة الآتية :

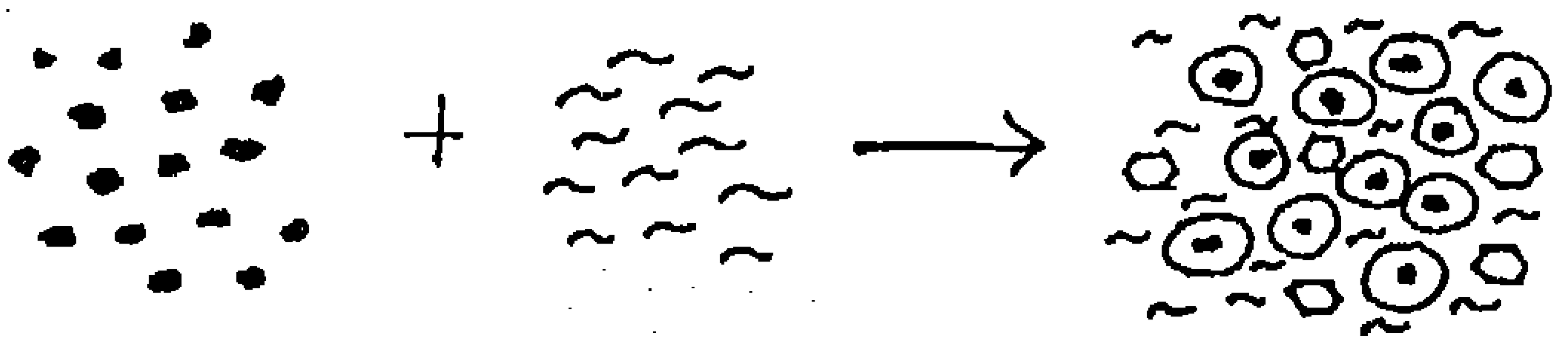
$$C + A.S \rightarrow C_2S + C_3S + C_3A$$

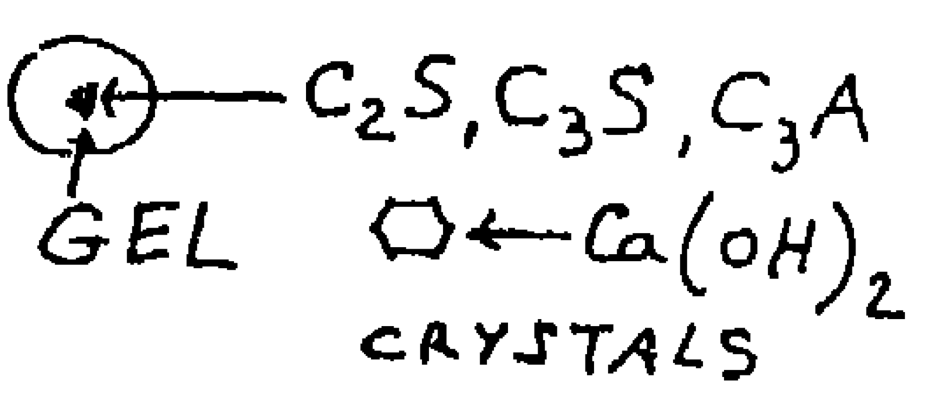
lime clay → calcium silicates & calcium aluminaes

سيليكات الكالسيوم والألومنيوم الناتجة عن التفاعل تتحد مع الماء وتكون هيدروكسيد كالسيوم مع مادة جيلاتينية (GEL) تحتوى على كالسيوم أقل من المركب الأساسى ،وذلك طبقا للمعادلة التالية

$$\left.\begin{matrix} C_3S \\ C_2S \\ C_3A \end{matrix}\right\} + H_2O \longrightarrow Ca(OH)_2$$

& CALCIUM SILICATES & ALUMINATES (GEL)





HYDRATION OF PORTLAND CEMENT

جدول رقم (٦) يوضح
الرموز المستخدمة فى كيمياء الأسمنت

Name of Compound	Chemical Formula	Abbreviaction
Alumina	Al_2O_3	A
Iron Oxide	Fe_2O_3	F
Lime	Ca O	C
Slaked Lime	$Ca(OH)_2$	CH
Silica	Si O_2	S
Water	H_2O	H
Carbon Dioxide	CO_2	C
Suiphur Trioxide	SO_3	S
Tri-Calcium Silicate	3CaO SiO_2	C_3S
Di-Calcium Silicate	2CaO. SiO_2	C_2S
Tri-Calcium Aluminate	$3CaO.Al_2O_3$	C_3A
Calcium Iron Aluminate	$4CaO-Al_2O_3.\ Fe_2O_3$	C_4AF
*Calcium silicate Hydrate	$CaO-SiO_2-nH_2O$	CSH
**Calcium Aluminate Hdrate	$CaO.Al_2O_3.\ nH_2O$	CAH

*A family of compounds with varying C/S ratios and water content Example.

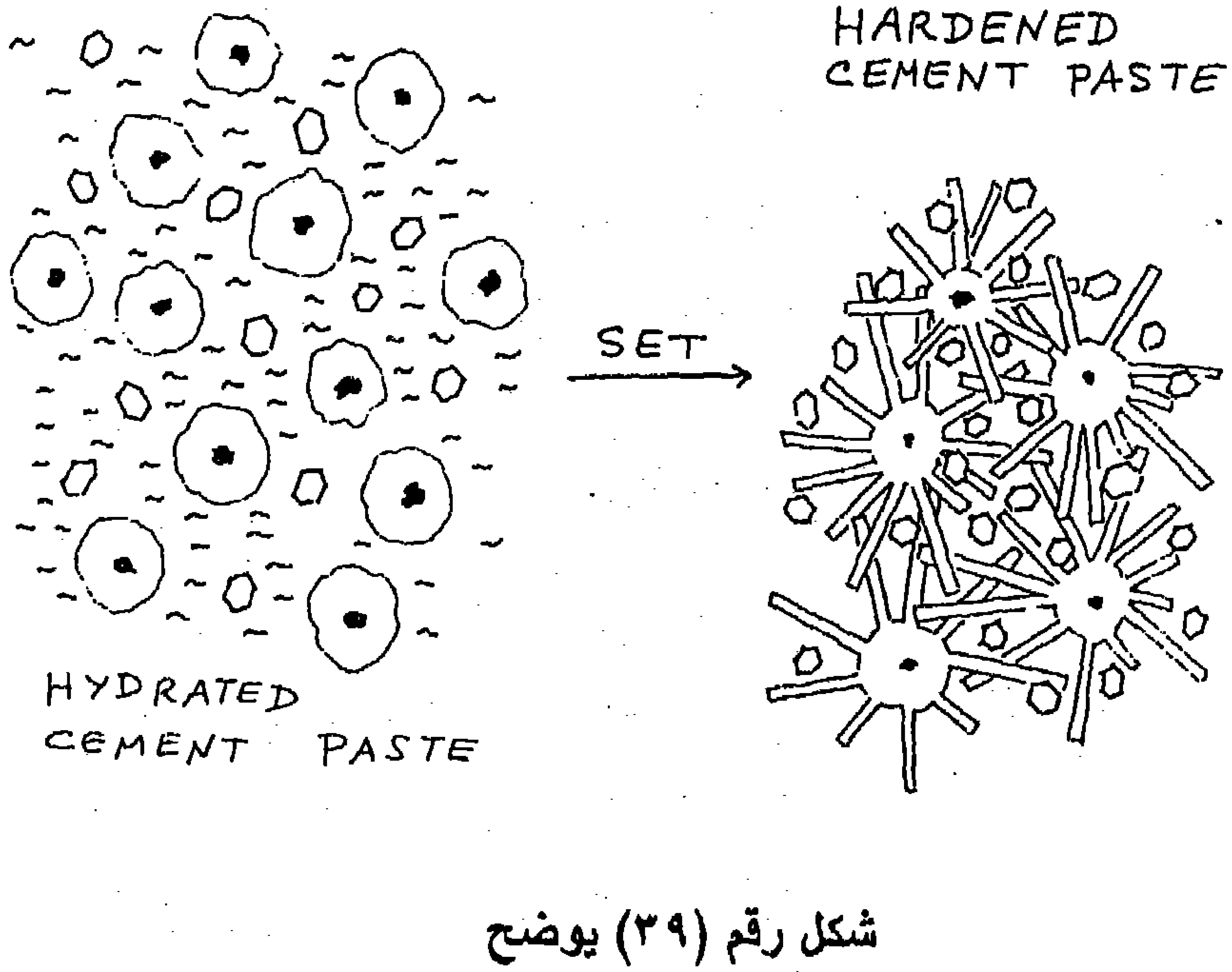
Tobermorite $C_5S_6H_2$.

** A family of compounds with varying C/A ration and water content.

وأثناء تصلب الاسمنت تصبح مياه الخلط قلوية جدا (H 12-13) وذلك بسبب وجود الجير الحر . وفى مرحلة أخرى فان المياه تتخلل الجزيئات الصلبة فى (الجل) المتكون ، ويستمر التفاعل داخلها مؤديا إلى تكوين سهام ليفية Fibrous shoots تتكون بصفة أساسية من: سيليكات الكالسيوم المائية (CSH) .

وفى النهاية يتكون شكل شبكى من خلال المادة الكاملة التى تسبب التصلب .

وبعد جفاف الجير المتكون أثناء التفاعل يتحول ببطء شديد إلى كربونات الكالسيوم وتبدأ المادة فى الحصول على قوتها ومكانتها .



شكل رقم (٣٩) يوضح

عملية شك الاسمنت البورتلاندى

ملاحظات :

عادة يضاف الجبس إلى خليط الأسمنت أثناء الصناعة وذلك للتحكم فى معدلات تفاعل الشك . والمواصفات القياسية الحديثة تسمح باضافة كمية تتراوح ين ١-٧٪ من الجبس المائى .

الرموز المستخدمة فى كيمياء الاسمنت موضحة فى الجدول رقم(٦).

٦-٥- الخرسانة الحديثة Modern concrete:

تصنع الخرسانة الحديثة من : اضافة الرمل والزلط أو كسر الصخور Crushed rocks إلى الأسمنت ، مع مراعاة النسب الصحيحة للخلائط وكذلك الخلط الجيد للكميات .

ويلاحظ أن المواد الخرسانية الهشة أو الصلبة تقاوم اجهادات الضغط بصورة جيدة ، لكنها لاتقاوم اجهادات الشد.

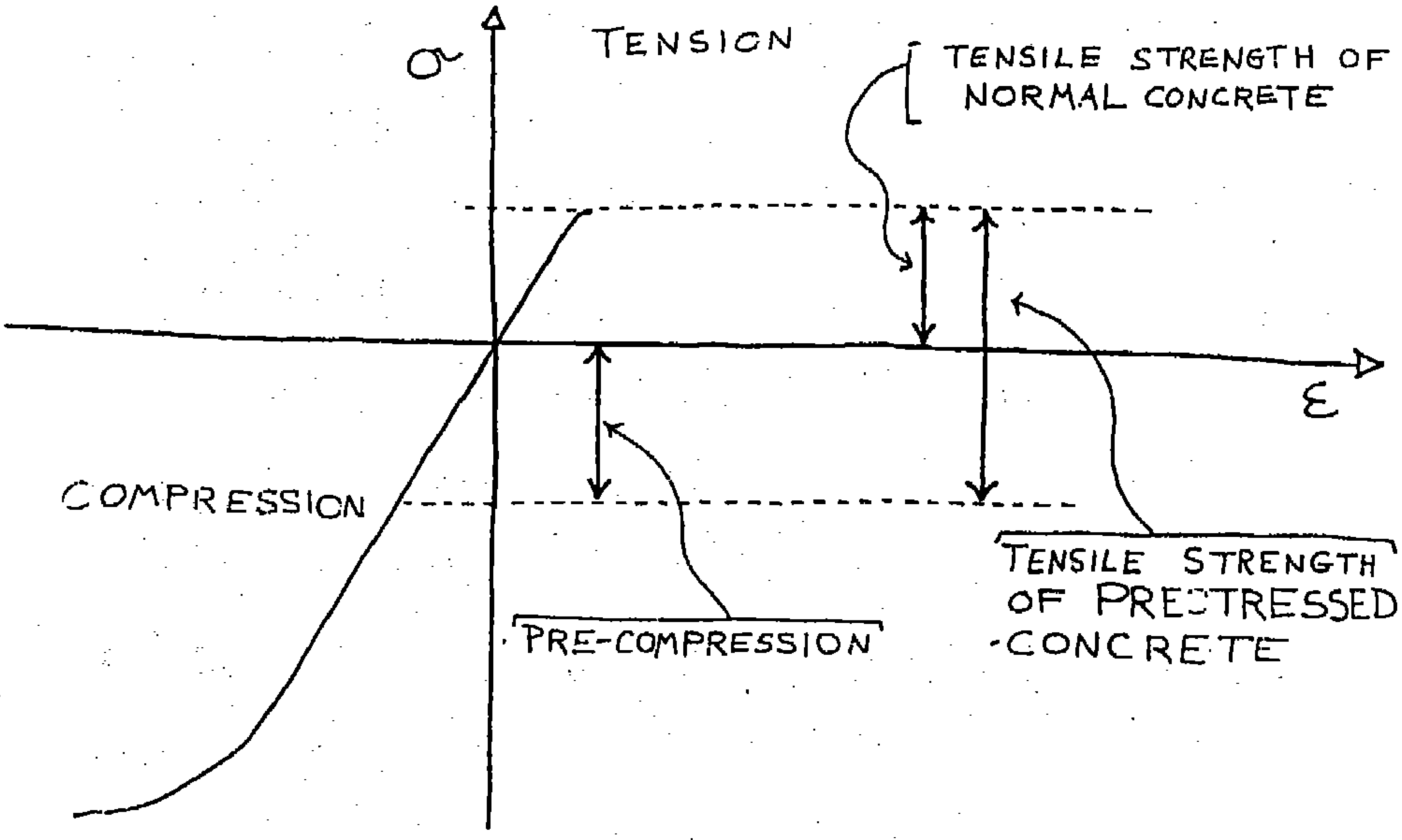
وضعف مقاومة هذه المواد لاجهادات الشد أمكن التغلب عليها حاليا باستخدام الحديد كمادة تسليح للخرسانة حيث أن الحديد له مقاومة عالية لاجهادات الشد.

الخرسانة المسلحة Reinforced concrete:

الحديد هو أكثر المواد شيوعا فى الاستخدام لتسليح الخرسانة وذلك لأن له تقريبانفس معامل تمدد الخرسانة (١٢ × ١٠^-٦) كما أن الأسمنت يلتصق جيدا بسطحه .

على الجانب الآخر فإن الأسمنت أثناء عملية الخلط يخلق بيئة قاعدية (High pH) وهذه تقلل من معدلات تآكل حديد التسليح.

وحديثا تم تحسين خواص مقاومة الشد للخرسانة ، وذلك باستخدام تكنيك الخرسانة سابقة الاجهاد Pre-stressed concrete حيث يتم ادخال أسياخ من الحديد Steel cables داخل الخرسانة ، وهذه تعمل على اخضاع قوى الشد - أى إضعافها - وفى المقابل تقلل من اجهادات الضغط للخرسانة وتكون النتيجة زيادة مقاومة الخرسانة سابقة الاجهاد لقوى الشد . انظر الشكل رقم (٤٠)



شكل رقم (٤٠) يوضح

الفرق بين الخرسانة العادية والخرسانة سابقة الإجهاد

٦-٦- عيوب الأسمنت البورتلاندى : Defects of portland cement

الأسمنت البورتلاندى لايحتوى فقط على سيليكات الكالسيوم والألومنيوم بل يحتوى أيضا علىكبريتات الكالسيوم ، كما يحتوى أيضا على بعض الأملاح القلوية التى تتكون عندما يستخدم فى صناعته الطفلة ، أو وقود يحتوى على صوديوم أو بوتاسيوم فى عمليات الحرق، مع ملاحظة أن نسبة القلويات فى الأسمنت ربما تصل لأعلى من ٢٪.

وكنتيجة فإن المواد الذائبة كليا أو جزئيا التى تتكون أثناء تفاعلات شك الأسمنت هى:

1- $Ca(OH)_2$		CALCIUM HYDROXIDE
2- Na (OH)		SODIUM HYDROXIDE
3- Na_2SiO_3	(AND OHER FORMULAS)	SODIUM SILICATES
4- Na_2SO_4		SODIUM SULPHATE
5- $CaSO_4$		CALCIUM SULPHATE

واذا تسرب السائل المتكون أثناء تفاعلات شك الأسمنت إلى داخل مسام مواد بناء المبانى القديمة ، بطريقة ما ، فإنه قد يسبب بعض الأضرار .. وذلك للأسباب الآتية :

١- ظهور بقع سوداء على سطح الحجر ، بسبب تأثير القلويات على بعض معادن الحجر الجيرى والرملى .

٢- تكون تزهرات غير ذائبة جزئيا من السيليكا وكربونات الكالسيوم مثلما حدث فى معبدى الكرنك وبورو بودور Borobudur هذه التزهرات Efflorescences تشوه سطح الحجر ،وتكون صعبة الإزالة ، وربما أيضا تسبب تلف محلى Locally damage فى سطح الحجر أو الطوب ،وذلك عن طريق اجهادات التبلور Crystallization stress .

٣- اجهادات التبلور القوية تحدث بسبب كبريتات الصوديوم نظرا لكون هذا الملح قابل للذوبان فى الماء .

من أجل ذلك فإنه يجب استخدام الأسمنت قليل القلويات قليل الكبريتات ، لعمل الخرسانة التى قد تكون متصلة بالمبانى القديمة ، ولكن يجب أن نعلم أن هذا النوع من الأسمنت غير متاح دائما، أو غير موجود فى الأسواق .

كذلك يمكن استخدام الحواجز المائية لحماية المواد القديمة من ماء الأسمنت .

- بياض ومون الأسمنت Cement plaster & Mortars:

بياض ومون الأسمنت خطيرة جدا إذا استخدمت فى المبانى القديمة، وذلك للأسباب التالية :

١- أنها تغذى الأملاح الذائبة فى المبانى القديمة .

٢- أنها تتميز بقلة مسامها ،وبالتالى لا تسمح للمياه بالتبخر بسهولة ، لذلك فإن تسرب مياه المطر خلال الشروخ وتجمعها خلف طبقة البياض الأسمنتى قد تخلق قوى شد خلف هذه المونه سواء عند انخفاض الحرارة ، عن طريق التجمد Freezing أو عند ارتفاع درجة الحرارة ، عن طريق التبخر Evaporation وكنتيجة فإن البياض يتفكك بسهولة من فوق الحوائط ، أو تزداد رطوبة مواد البناء .

٣- الخرسانة الأسمنتية ذات كثافة عالية ، كما أن موادها عالية التوصيل الحرارى ، وأيضا تشجع عملية التكاثف ، لذلك يفضل إستخدام الخرسانة

منخفضة الكثافـــــة فـى أعمـــــال الترميم للمبانـــــى القديمـة الرطبـة Old damp building .

ملاحظة :

يجب أن يوضع فى الاعتبار أن استخدام الخرسانة المسلحة فى تدعيم المنشآت القديمة يشوبه كثير من الخطر، وذلك للأسباب التالية :

أ – معامل تمدد الخرسانة المسلحة أكثر من ضعف معامل تمدد جميع أنـواع الأحجار المعروفة ، وكذلك الطوب .

ب – المواد المكونة للخرسانة المسلحة قوية جدا ،ولها معامل مرونة مرتفـع جدا Very High Elasticity Modulus .

ج – تعمل الخرسانة على تنمية إجهادات الضغط والشد ،وذلـك بسـبب تـأثير دورات الحرارة على موادها ، لذلك يجب وضع هذا فى الاعتبار عند تصميـم الخرسانة التى يتم ادخالها Inserted فى نظام البناء القديم .

د – المبـانى القديمـة التـى يسـتخدم فـى تدعيمهـا الخرسـانة المسـلحة تخضـع لعوامل التشوه Deformation وذلك لأن الخرسانة تفرغ كل إجهادات الشـد المتعلقة بها علـى المـواد الضعيفـة المجـاورة لهـا أو المتصلـة بهـا – طـوب ، حجر ، مون – وهـذه المـواد الضعيفـة ، تسـتقبل نصيبهـا مـن الضغـوط التـى تكون عادة أكبر من قدرتها على التحمـل ، وبنـاء عليـه تـزداد معـدلات تحلـل وتلف مواد الإنشاء.

٦-٧- مون الجير والأسمنت والإضافات الأخرى :

Lime - Cement Mortars & Other Mixtures:

لكى نحصل على مون جيرية ذات خواص هيدروليكية ، وذات قوة مناسبة ، يجب أن نضيف إلى الجير المائى ، كمية صغيرة من الأسمنت .

على سبيل المثال: تضاف نسبة ١ بالحجم اسمنت إلى ٤ بالحجم جير مائى أى تكون النسبة بين الأسمنت والجير (١ : ٤) بعد ذلك يضاف الرمل بالكمية المناسبة .

والمونة المتكونة من الأسمنت مع الجير تصبح خالية من بعض عيوب مونة الأسمنت ، وتكون سهلة عند الاستخدام ، ويمكن الاعتماد عليها فى عمليات الترميم أكثر من مون الجير النقية Pure Lime Mortars أى غير المخلوطة بالأسمنت .

لذلك يجب كلما أمكن استخدام أسمنت منخفض القلوية Low Alkali مع مونة الجير المستخدمة فى الترميم لكى نحصل على خليط به أقل نسبة من الأملاح الذائبة .

وهناك طريقة أخرى للحصول على مونة متناغمة، أو منسجمة مع مواد البناء القديم ، وتكون قوية فى نفس الوقت ، حيث يتم تخفيف الأسمنت بكربونات الكالسيوم .

وغالبا فإن بعض الأنواع الحديثة من الجير الهيدروليكى Hydraulic limes فى الحقيقة تحتوى على أسمنت مخفف مع موالىء خاملة - غير نشطة - Inert fillers.

٦-٨- تلف الخرسانة العادية والخرسانة المسلحة :

Deterioration of concrete and Reinforced Concrete:

الخرسانة العادية القوية قد توهم المرمم بأنها مادة غير قابلة للتلف ، خاصة إذا كانت مانعة للمياه .

أيضا الأحجار الصناعية ، كانت منتشرة الاستخدام فى ترميم المبانى الأثرية فى القرن (١٩، ٢٠) وكانت تصنع من كسر الحجر والأسمنت البورتلاندى .

وهذه وتلك ظهر فيها تلف كبير لأسباب عدة :

على سبيل المثال : السقف المتقاطع فىكنيسة St. Paul فى روما ، وتيجان أعمدة برج جرس الكنيسة، ظهر فيها تلف واسع الانتشار حوالى عام ١٨٧٥م وكان السبب فى ذلك التآكل المباشر بواسطة الأمطار الحمضية ، أو نتيجة تكون قشرة سطحية ، ثم تحلل أسقفها بواسطة تأثير عمليات التكاثف فى الجو الملوث .

وبصفة عامة فإن خرسانة الأسمنت تهاجم بواسطة أملاح الكبريتات الموجودة فى الماء ، مثل : ماء البحر .. وأيضا لأن الجير الموجود فى الأسمنت يكون عند تفاعل الشك مركبات الومنيوم ، وكبريتات (كبريتات الكالسيوم والألومنيوم) التى تسمى Ettringite وهذه تتبلور مسببة ضغوط داخلية قوية Strong internal stress.

أيضا فإن الخرسانة المسلحة قد تتلف بسرعة إذا حدث بها بعض الشروخ ، وذلك لأن هذ الشروخ تسمح للماء بالوصول إلى حديد التسليح.

وكذلك فإن الجير الحى حول هذه الشروخ يتكربن بصورة كلية ، وبعد فترة زمنية قصيرة تظهر قطرات مياه متعادلة أو حمضية .

وبالتالى فإن حديد التسليح الذى يحفظ جيدا يبدأ فى التآكل ويزداد حجمه، وينتج عن ذلك ضغوط داخلية تتسبب فى زيادة الشروخ فى الخرسانة، وتعجل من عمليات التآكل.

لذلك يجب معالجة شروخ الخرسانة بسرعة عن طريق الحقن بواسطة الراتنجات الصناعية السائلة ، مع ملاحظة أنه يجب أن يضاف اليها المصلب أو المجمد قبل استخدامها فى عمليات الحقن .

أيضا الشروخ الدقيقة المتشابكة من الممكن غلقها كلية أثناء عمليات الترميم وذلك لوقف تآكل معدن الحديد The Metal Corrosion فى الخرسانة المسلحة .

******

الفصـــل الســـابع
صيانـــة الأحجـــار
Coservation of Stone

٧-١- التشـخيص Diagnosis:

قبل البـدء فـى عـلاج وصيانـة الأحجـار ، يجـب أولا دراسـة عوامـل التلف التى تؤثر فيها ، وتؤدى إلى تلفها ..

هذه الدراسة تشمل :

* تحديد نـوع الحجـر ، وتركيبـه الكيميـائى أو المعدنـى سـواء فـى الأجـزاء الأصلية السليمة التـى لـم يصبهـا التلـف، أو تلـك التـى أصابهـا التلـف وتحلـل أجزائها.

* معرفة كمية الشروخ بالحجر ، وتصنيفها ، ومعرفة المسام الداخلية وكيفية انتشـارها داخـل الأحجــار ، وذلـك لتجنـب ازديـاد المــاء ، ولتحديـد بدايـة الإجهادات الداخلية - راجع الفصل الأول .

إذ أن المياه تشكل عامل أساسى وهام من عوامل تحلل المواد الأثريـة حيث أنها تنتشر داخل الأحجـار المسـامية ، وتتلفهـا ، كمـا أنهـا تنتشـر أيضـا داخل الكثير من المواد الإنشائية الأخـرى فـى المبـانى الأثريـة، وذلـك بطـرق متعددة ... مثل : التكاثف ، الإرتفاع الشعرى ، رشح مياه المطر ..

* مسـح عـام لحـالات الطقس والمنـاخ .. مثـل : الاختـلاف فـى معـدلات الحرارة والرطوبة ، ومستوى التلوث الجوى ، التربة الملحية .. الرياح ..

هذا المسح ربما يمدنـا بمعلومـات إضافيـة موثقـة عـن أصـل عمليـات التلف المختلفـة .. مثـل: تبلـور الأمـلاح Salt Crystallization والصقيـع Frost التكاثف فى الجو الملوث .

Condensation in Pulluted Atmosphere

* دراسة بيولوجية .. وذلك إذا توقعنا وجود عوامل تلف بيولوجية .. مثل: الفطريات Algae والبكتريا Bacteria .. التى يجب تحليلها لمعرفة نوعها وطرق مقاومتها .

وكما أوضحنا فى الفصل الأول .. فإن اتحاد عوامل التلف المختلفة تتعلق بالحجر نفسه ، أو بالبيئة المحيطة به ، وربما تكون نتيجة لعدد مختلف من عمليات التلف ..

والدراسات السابقة ربما تناسب حالة واحدة فقط ، وليس كل الحالات.

وبصفة عامة فإن الاستعدادات اللازمة لصيانة الآثار يجب أن تتم فقط بعد دراسة وتعريف عمليات التلف ، أو على الأقل بناء هذه الاستعدادات على أساس تجريبى .. وذلك لتجنب الأخطاء التى قد تنتج عن التصنيف غير الدقيق لأسباب التلف على المدى البعيد .

٧-٢- التنظيف Cleaning:

يجب تنظيف أسطح الأحجار جيدا قبل تطبيق عمليات التقوية Consolidant والحماية Protective لها .

أيضا يجب أن نحافظ على سطح الحجر نظيفا ، ومحميا من المطربصفة خاصة، حيث أن مياه المطر قد تتسرب داخل المسام ، وتؤدى إلى تفتت الحجر ببطء شديدSlowly eroded .

ولسوء الحظ فإن عمليات التنظيف المتعددة أو الواسعة الانتشار حاليا، تسبب بعض الأضرار للأسطح المسامية ، وربما تشكل خطر محتمل على الآثار التى يتم تنظيفها فى المستقبل ، أى بعد التنظيف .

أضف إلى ذلك أنه يجب الوضع فىالاعتبار أن بعض المواد ، ربما تفقد لو تم تطبيق عمليات التنظيف عليها بطريقة غير سليمة لذلك فإن عمليات التنظيف يجب أن تتم بحساسيه خاصة وبتقنيات عاليه، خاصة للأسطح المزخرفة أو المرسوم عليها .

وفيما يلى نذكر قائمة بعمليات ومواد التنظيف التى تسبب بعض الأضرار لمواد الآثار :

- **الأحماض Acids:**

تؤدى إلى تفتت غير منتظم لأسطح الأحجار ، كما تؤدى إلى تكوين أملاح ذائبة Soluble salts وهذه يحتمل ادمصاصها داخل مسام الحجر ، مما ينتج عنه إجهادات داخلية Internal Stresses .

ومن أمثلة الاحماض الخطرة على الآثار الحجرية : حمض الهيدروكلوريك Hydrochloric Acid وحمض الكبريتيك Sulphuric acid وحمض النيتريك Nitric acid ، كما يلاحظ أن حمض اليهدروفلوريك Hydrofluroic acid وملح بايفلوريد الأمونيا Ammonium bifluoride أقل خطورة على الأحجار من الأحماض السابق ذكرها ، حيث تكون أملاحا قليلة الذوبان ، ولكنها فىالمقابل أكثر خطورة على المرمر الذى يقوم باستخدامها فى عمليات التنظيف .

القلويات Alkali:

مثل الصودا الكاويه Caustic Soda والبوتاسا الكاويه Caustic potash إذا استخدمت فى تنظيف الأحجار قد تسبب تكوين أملاح قابلة للذوبان .

- ضخ المياه **Water jets :**

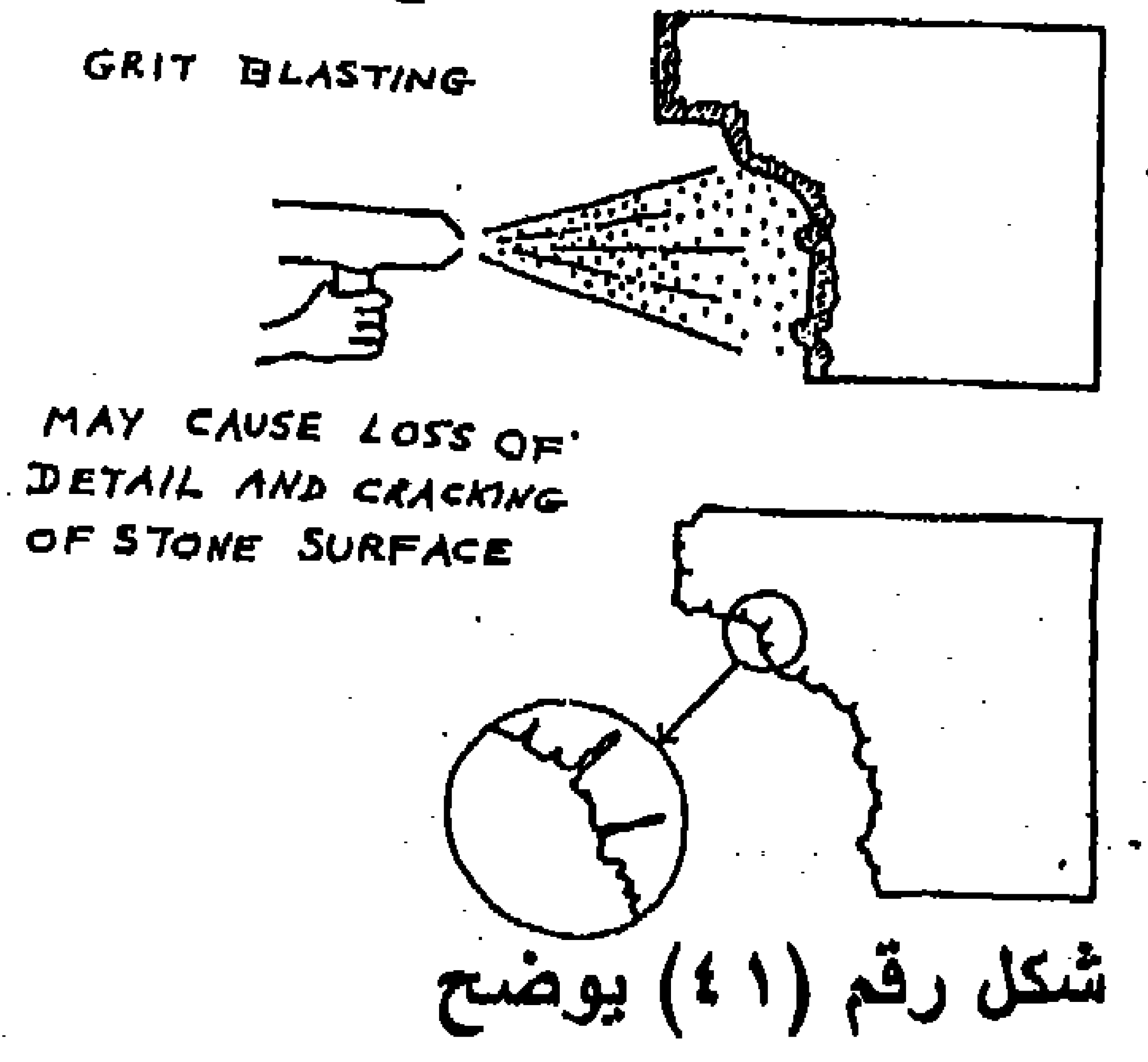
استخدام طريقة إطلاق المياه أو ضخ المياه ، ربما يسبب تخلل عميق للمياه داخل مسام الحجر ، خاصة إذا تم استخدام كميات كبيرة من المياه في هذه العملية .

وإذا تسربت المياه إلى داخل الحجر، تؤدى إلى زيادة الرطوبة داخل المباني الأثرية ، وربما تعجل من تأثير بعض عمليات التلف أو تتسبب في وجود بعض عمليات التلف.

- النسف بالحصى **Gritblasting:**

الحصى الرطب أو الجاف عند استخدامه في عمليات التنظيف بطريقة النسف، قديسبب ضياع سطح الحجر الذى يتم تنظيفه وتعريض سطح جديد لعمليات التلف.

هذا في الوقت الذى يسبب فيه النسف بالحصى ظهور سطح جديد غير منتظم ، ويحتوىعلى شروخ عديدة Veryirregular & Full of cracks وهذه النتائج في الغالب تؤدى إلى تسريح معدلات التلف . انظر الشكل رقم (٤١).



شكل رقم (٤١) يوضح

طريقة النسف بالحصى لتنظيف أسطح الأحجار ومدى خطورتها

- النحت أو الكشط Chiselling or scraping :

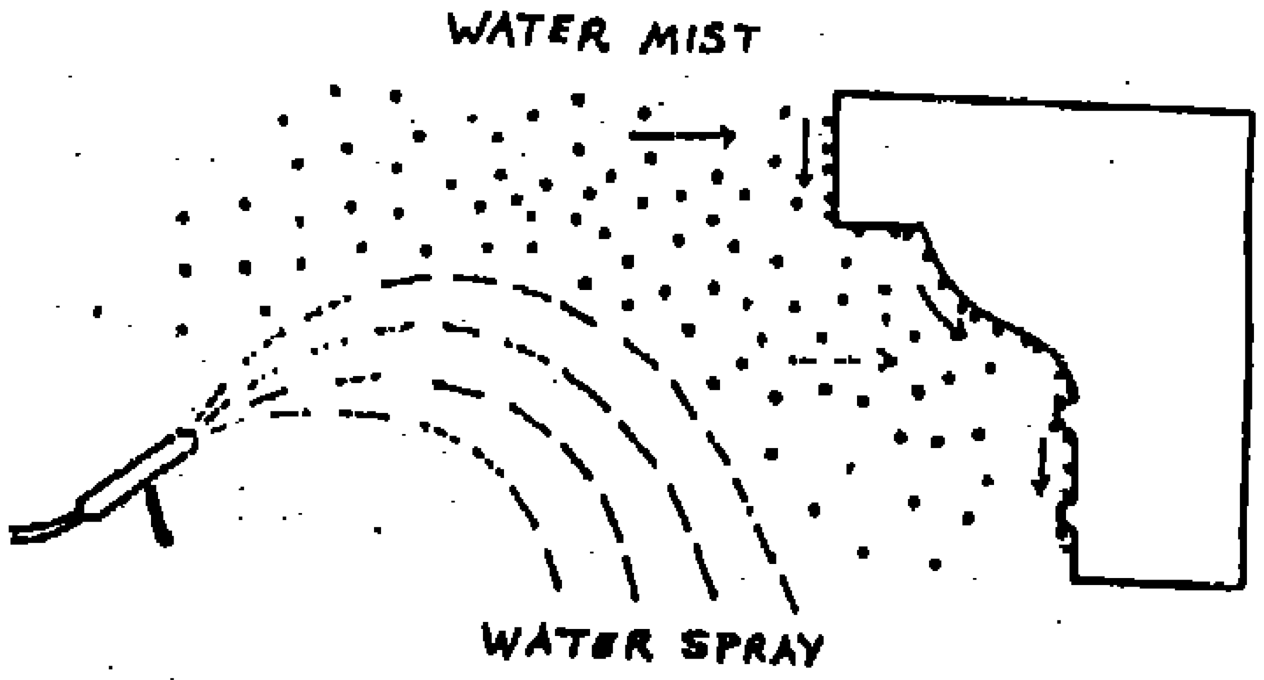
حيث يتم استخدام الادوات المعدنية أو الفرش المختلفة لتعطى نفس نتائج الطريقة السابقة ، لكن على مساحات أوسع .

وبصفة عامة فإن عمليات تنظيف الأحجار فى المبانى التاريخية أو الأحجار المستخدمة فى الأعمال الفنية عمليات عالية الدقة ، ويجب أن تتم بحرص شديد ، ومهارة فائقة ، مع ملاحظة إستمرار تطوير هذه العمليات لتناسب كل حالة .

وفيما يلى نذكر أمثلة لأهم الطرق المناسبة للاستخدام فى تنظيف الأحجار فى المبانى الأثرية .

- رذاذ الماء Water mists:

طريقة التنظيف باستخدام رذاذ الماء عملية متخصصة جدا ، وتؤدى إلى تحلل قشرة السناج Soot crust التى قد تغطى الأحجار ، لأن نقط المياه الدقيقة جدا The tiny droplets تتعلق فى الهواء مكونة سطح نوعى كبير ، وخالقة لسطح بينى متسع Creat alarge interface عندما تترسب على سطح الحجر . انظر الشكل رقم (٤٢)



طريقة تنظيف باستخدام رذاذ الماء

- النسف الدقيق Micro- Blasting:

تتم عملية النسف هذه باستخدام أجهزة تطرد الحصى بقوة كبيرة ، وبسرعة عالية فى صورة عمود دقيق جدا Very narrow beam of grit ويمكن التحكم فى قوى طرد الحصى ، طبقا لنوع الرواسب المطلوب إزالتها، ومدى تماسكها ، وقوة التصاقها بالحجر .

ومن مميزات هذه الطريقة أنه يمكن تطبيقها فى المساحة المطلوب نظافتها فقط ، وذلك حسب رغبة المرمم.

ويلاحظ أنه إذا أحسن إستخدام هذه الطريقة ، وأحسن توظيفها جيدا ، فإنه يمكن التخلص من أو إزالة الطبقات السميكة أو الصلبة من الرواسب غير المرغوب فيها فوق سطح الحجر أو الأعمال الفنية، دون فقد أى تفاصيل، ودون إحداث أدنى تلف بسطح العمل الفنى على وجه الخصوص.

- كمادات الطين Clay packs:

تضع كمادات الطين من طينات عالية الإدمصاص ، مثل : طينة Sepiolite وطينة Attapulgite والتى غالبا ماتقوى بألياف سيليلوزيه قصيرة Short cellulose fibres ويخلط بالماء .

هذه الكمادات بطيئة النتائج ، إلا أنها آمنة التأثير خاصة على طبقات السناج، أيضا فإنها مفيدة جزئيا عندما تستخدم فىالتخلص من الأملاح القابلة للذوبان من مسام الحجر .

الهلاميات القلويه Basic Jellies:

حيث تعالج الطبقات المترسبة على سطح الأحجار ، بطبقة من عجينة هلامية القوام ، قاعدية الخواص (قلوية) تحتوى على بيكربونات

Bicarbonates وعوامل كيميائيـة أخـرى Chemical agents تعمـل علـى ازالة أيونات الكالسيوم ، وتحتفظ بها ذائبة فـى المياه وتسمى هذه العوامـل : عوامل فصل Sequestering agents وهـذه العوامـل أكثر تـأثيرا ، وأنشـط فعلا من كمادات الطين على القشرة الصلبة من الرواسب غير المرغوب فيها.

المادة الهلامية (جل) تتكون من: لواصـق ذائبـة Sluble adhesive مثل: ميثيل سيليلوز Methyle cellulose أو السيليكاجل Silicagel دقيقـة الحبيبـات Micronized silica، هذه اللواصـق تجعـل عجينـة البيكربونـات سهلة التطبيق على الأسطح الرأسية والمتدلية Vertical or overhanging surfaces دون أن تسمح للسائد بالجريان خارج المساحات المعالجة.

وبمقارنة كل طرق التنظيف الدقيقة ، والمناسبة للاستخدام فى تنظيـف المـواد الأثريـة ، نجـد أنهـا بطيئـة نسبيا، وتحتـاج إلـى شـخص متخصـص، ومتدرب تدريبا عاليا على استخدام هذه الطرق.

لذلك فـإن عمليات تنظيف المبانى الأثريـة، أو الآثـار بصفـة عامـة، عمليـات غاليـة الثمـن جـدا إذا ماقورنـت بطـرق التنظيـف التجاريـة The commercial cleaning التى غالبا مـايتم تطبيقهـا عنـد الحفـاظ علـى المبانى غير الأثرية..

بعض الأسطح الحجرية المتحللة تكون ضعيفة جـدا بحيـث لاتسـتطيع احتمال أى عمليات تنظيف ، لذلك إذا حدث وتم تنظيفها بطريقة غير مناسـبة، ربما تفقد كميـة كبيرة مـن موادهـا ، وقبـل أن يحـدث ذلـك لابـد مـن معالجـة السـطح المطلـوب تنظيفـه معالجـة خاصـة تسـمح بعمليـات التنظيـف.. هـذه المعالجة تتضمن التقوية المؤقتة Temporarity consolidated كأن يعـالج السـطح بـأحد الراتنجـات الصناعيـة المناسبة ، مـن مجموعـة ثرموبلاسـتيك

Thermoplastic ، وبعد ذلك يتم التنظيف باستخدام طريقة النسف بالحبيبات الدقيقة أو طريقة الهلاميات القاعدية .

وأحيانا تتم عمليات التقوية الجزئية بالتناوب مع عمليات التنظيف حتى يتم الحصول على نتائج مرضية ، لإزالة الرواسب المتكلسة على سطح الأحجار.

٧-٣- التقويه Consolidation

- الأهداف Definition of Aims

نتيجة لعمليات التحلل والتفتت التى تحدث للأحجار عند تعرضها لعوامل التلف ، يحدث أن يفقد الحجر تماسكه ، ويتآكل سطحه لأعماق كبيرة هذامن ناحية، ومن ناحية أخرى قد يتشقق الحجر ، أو تحدث به شروخ ، تسمح بإنفصال شظايا صغيرة Splinters أو قطع كبيرة نسبيا من حواف الشروخ أو الشقوق .

ويكون الهدف من صيانة الأحجار فى المبانى الأثرية أو الأعمال الفنية.. هو تجنب أى فقد أو ضياع أى جزء من الحجر مهما كان صغيرا.

لذلك فإن عمليات التقوية .. بمعنى إعادة الترابط والتماسك للمادة.. تعتبر من أهم عمليات الصيانة خاصة إذا فقدت الأحجار تماسكها ، وأصبح بقاؤها مهددا بخطر الضياع.

بعض عمليات التقوية أيضا تعطى الحجر نوعا من الحماية ، إذ أنها تعمل على تحسين قدرته على مقاومة العوامل البيئية المتلفة ... مع أن هذه الفكرة ليست دائما صحيحة ،إذ أنه من الممكن أن يتم معالجة الحجر وتقويته،

إلا أنـه يظـل فـــى حاجـة ماســـــة إلـى معالجـات أخــرى لحمايتــه Protective treatment.

ويجب حماية الحجـر المعــــــرض لبيئة سيئـــــة أو بيئـة عدوانيـة An aggressive enviroment عـن طريــق طبقـــة حمايـــة قربانيـــة Sacrifical protective layer أى طبقة حماية مؤقتة يمكن ازالتها كل فـترة .. هذه الطبقة تنفذ غالبا على شكل طبقة سطحية ، بينها وبيـن الأصـل مسـافة صـغيرة، وتعمل كطبقة واقية ، تقى السطح المعالج من العوامل البيئية المتلفـة، وكلما أصبحت هذه الطبقة غير قادرة على تأدية و ظيفتها، يتم التخلـص منهـا ...لذلـك أطلـق عليهـا هـذا الاســم: طبقـــة حمايـــة قربائيـــة Sacrificial protective layer.

- التشبيع **Impregnation:**

المواد المقوية عادة تكون فى صـورة سـائل ،وعندمـا تعـالج الأحجـار بالمقويات وتتخلل الأخيرة سطح الحجر ، وربما تمتد إلى أعماق كبيرة بعيـدا عن السطح ، حتى تصل إلى الجزء السـليم مـن الحجـر The sound core of the stone وتؤدى فى النهاية إلى ارتبـاط الأجـزاء التالفـة التـى كـان مـن الممكن إزالتها بالأجزاء السليمة .

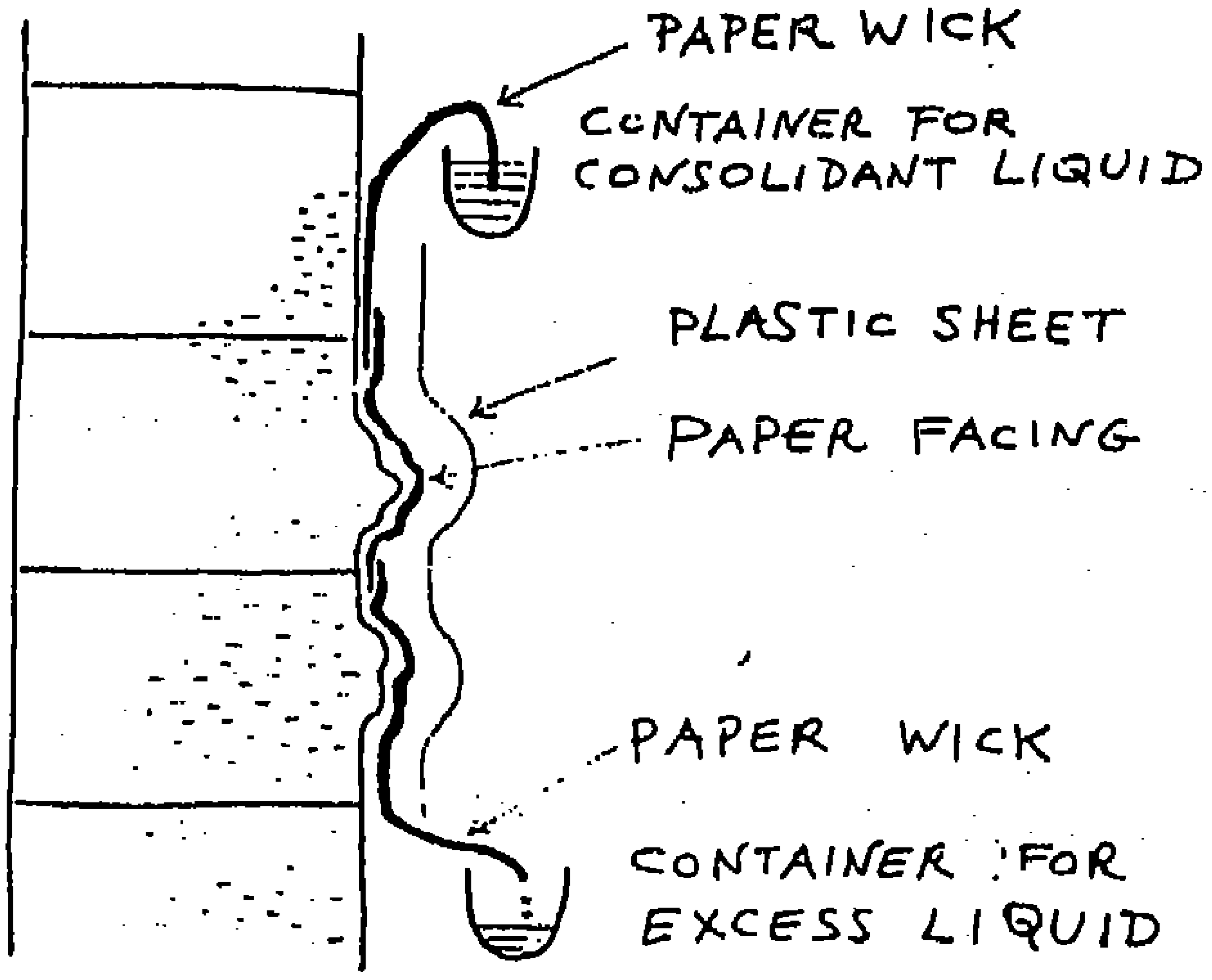
وهذا هو الهدف من عملية التشـبيع بالمقويـات وتكـون عمليـة التشـبيع سليمة وصـحيحة ، وأدت الغـرض منهـا، عندمـا تصـل المـادة المسـتخدمة فـى التقوية عن طريق التشبع إلى لب الحجر Core of the stone وتـؤدى إلـى ترابط وتماسك جميع مكوناته .

ومن السهل تنفيذ عملية التشبيع للأحجار التـى يتـم نقلهـا إلـى المعمـل ،وذلك عن طريق نقعها فى محلول مناسب ، حيـث يمكـن انجـاز هـذه العمليـة

بنجاح خاصة فى الأحجار الصغيرة ... ويزداد نجاح المرمم فى تنفيذ عملية التشبيع ، إذا تمت فى جو مفرغ من الهواء Under a vacuum حيث أن إزالة الهواء من المسام الداخلية فى الحجر ، يسمح بإحلال السائل المقوى كله وبالتالى تزداد فرصة المقوى فى التغلغل وملىء المسام الداخلية للحجر وربط جميع مكوناته .

وفى حالة الأحجار المستخدمة فى البناء والتى لايسهل نزعها ونقلها إلى المعمل لتجرى لها عملية تشبيع بتفريغ الهواء أو فى جو مفرغ ، تظل التقنيات التقليدية هى الأمثل دائما عند تقوية هذه الأحجار .

ومن أمثلة هذه الطرق - تكنيك الغطاء الورقى Paper-facing technique. انظر الشكل رقم (٤٣).



شكل رقم (٤٣) يوضح

طريقة التشبيع باستخدام تكتيك الغطاء الورقى لتقوية الأحجار

ويعتمد الأساس النظرى لهذا التكنيك على حفظ سطح الحجر وكذلك الغطاء الورقى رطبا أو مبللا باستمرار لعدة ساعات ، وفى بعض الأحيان لعدة أيام To keep the surface continuously wet مع تجنب عملية البخر التى قد تحدث للسائل المقوى حتى يتم إنجاز عملية التشبيع لأكبر عمق ممكن Until deep penetration.

وفى هذا التكنيك – كما هو موضح فى الشكل رقم (٤٣) يتم تغطية السطح بغطاء ورقى Paper sheets يلتصق بسطح الحجر بواسطة لاصق خفيف Light adhesive ويحفظ الغطاء الورقى بعد ذلك وباستمرار مبللا بسائل التشبيع .

تكنيك آخر فى التقوية هو : **تكنيك التفريغ Vacuum** هذا التكنيك يمكن تنفيذه أو تطبيقه على المواد كبيرة الحجم ، أو على قطاع من مبنى، وذلك عن طريق لف ورق بلاستيك أو مطاط A Plastic or Rubber Sheet على سطحها، مع عمل مص للهواء Suction بواسطة صمام Valve يمر خلال طبقة الورق " أى يتم تفريغ الهواء من بين الورق وسطح الجدار مثلا" وبعد ذلك يتم حقن السائل المقوى داخل الحجر من خلال قطاع مناسب، يترك بدون تغطية Left free

- **مقويات الحجر Stone consolidants:**

يمكن تقسيم مقويات الحجر إلى مجموعتين :

- مجموعة المقويات غير العضوية .
- مجموعة المقويات العضوية .

أولا: مجموعة المقويات غير العضوية Inorganic Consolidants:

المقويات غير العضوية ، تشمل : السوائل التى فى الظروف المناسبة تكون مواد غير قابلة للذوبان Insoluble substances .

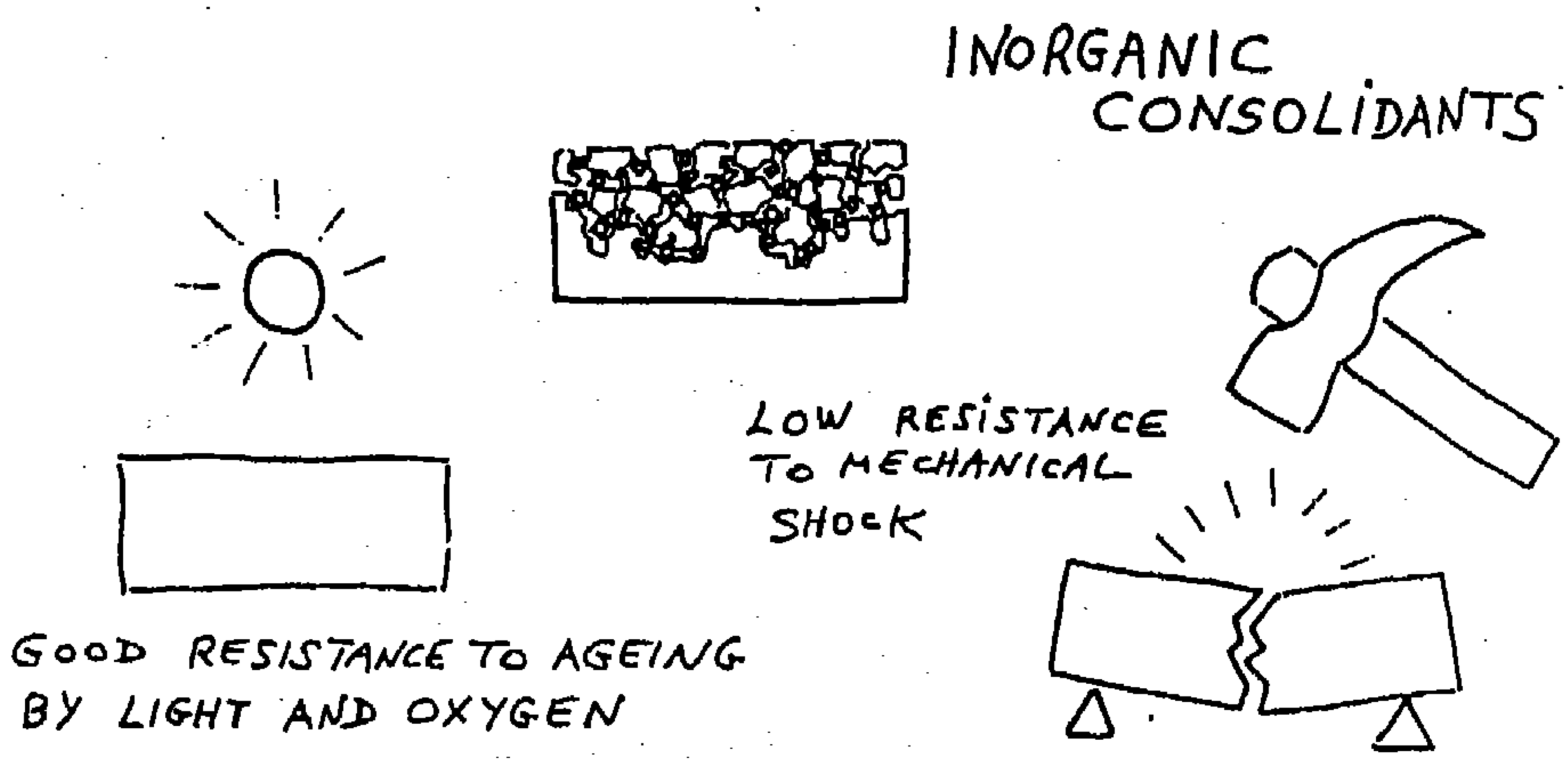
ويجب أن نعرف بداية أن المقويات غير العضوية من خواصها أنها تكون روابط من البللورات المنفصلة عن بعضها فى الأحجار المتحلله .

ويعتمد تأثير المقويات غير العضوية فى تقوية الأحجار على تكوين السيليكا المائية Hydrated silica مثلما يحدث فى حالة السيليكات والفلوسيليكات Fluosilicates أو تكوين كربونات الكالسيوم أو الباريوم Calcium or Barium Carbonates مثلما يحدث فى طرق التقوية باستخدام الباريوم والجير Lime and Baryta Processes أو تكوين الومينا كما فى طريقة التقوية باستخدام الومينات البوتاسيوم Potassium aluminate process.

كما أن بعض المقويات غير العضوية تكون : أملاحا ذائبة Soluble salts كمنتج جانبى Byproduct فى تفاعلات التقوية ، على سبيل المثال : تلك الاملاح التى تتكون بواسطة سيليكات الصوديوم أو سيليكات البوتاسيوم.

ويلاحظ أن مثل هذه المقويات التى تكون أملاح تستخدم فقط فى حالة إتخاذ الاحتياطات اللازمة لازالة أى أملاح ذائبة تتكون على سطح الحجر بعد التقوية .

كما يلاحظ أن المقويات غير العضوية تتمتع بخواص جيدة ضد القدم Ageing بواسطة الضوء والأكسجين إلا أن أهم عيوبها أنها لاتقاوم الصدمات الميكانيكية .انظر الشكل رقم (٤٤)



شكل رقم (٤٤) يوضح

مقاومة المقويات غير العضوية لعامل القدم وعدم مقاومتها للصدمات الميكيانكية

ثانيا : مجموعة المقويات العضوية Organic Consolidants:

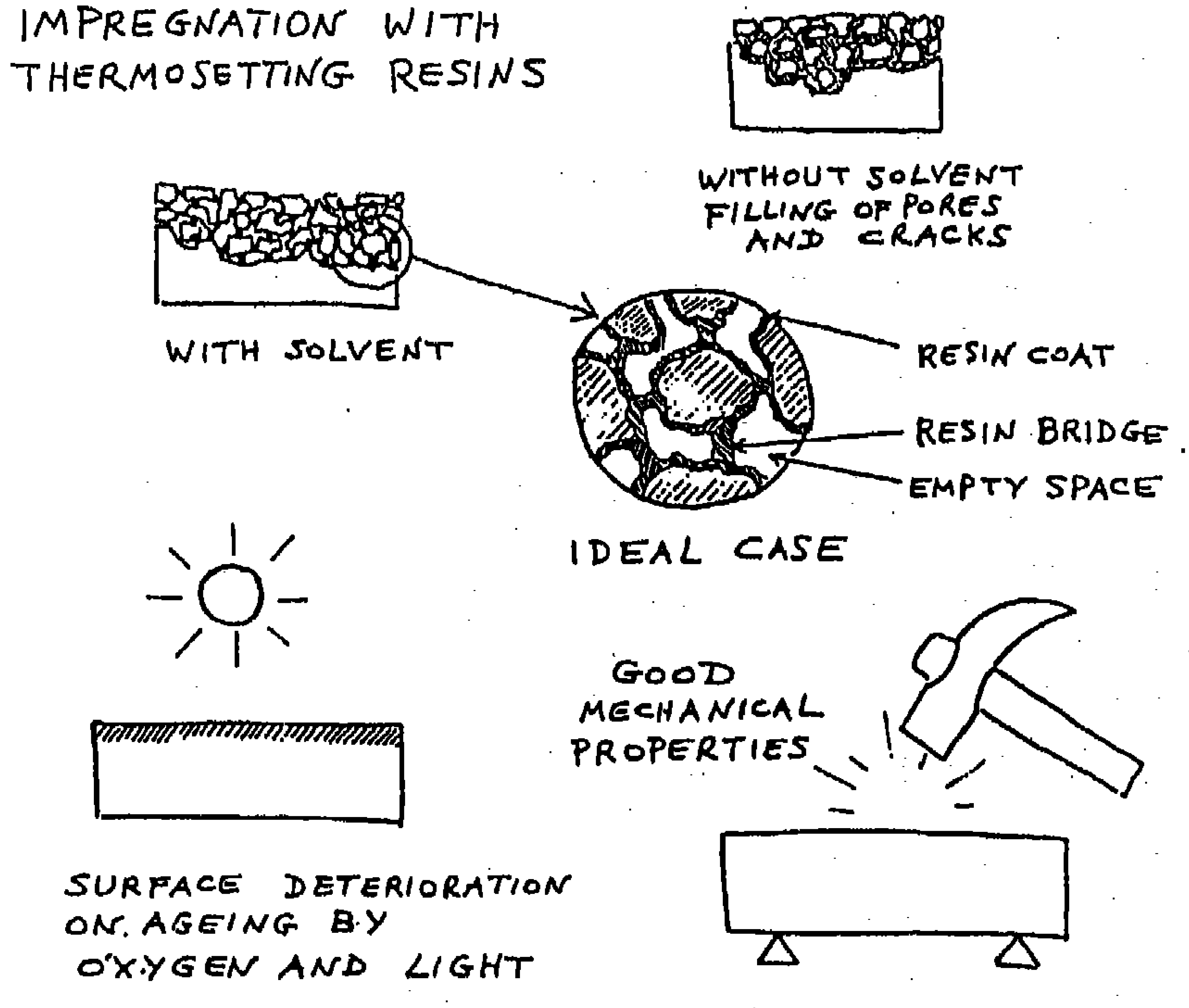
تعتمد هذه المقويات في الأساس على لدائن ثرموسيتنج Thermo-setting synthetic plastics التي تستخدم في علاج الحجر . وتكون في صورة سائلة ، وتخلط بمجمد أو مصلب Hardener والأخير يسبب شك المقوى بعدما يأخذ مكانه داخل مسام الحجر ، أو الشروخ الموجوده به .

وتستخدم راتنجات الإيبوكس والبولي إستر في أغراض تقوية الأحجار ، وغالبا ماتخلط هذه الراتنجات مع المذيبات Solvents التي تسبب

لزوجتها Viscosity وتؤخر تفاعلات شكلها، وتعمل على ملء كل الفراغات الموجودة فى الحجر بمادة الراتنج قبل تصلبه .

ويلاحظ أن المقويات العضوية تعمل على تحسين الخواص الميكانيكية للحجر المقوى، إلا أن الراتنجات نفسها تتحلل ببطء تحت تأثير الأكسجين والضوء ، على عكس المقويات غير العضوية . انظر الشكل رقم (٤٥)

كما أن المقويات العضوية تبقى داخل مسام الحجر لفترة طويلة جدا، وتعمل كمادة واقية أو حافظة ضد عوامل التجوية .



شكل رقم (٤٥) يوضح

مقاومة المواد العضوية للصدمات الميكانيكية

وعدم مقاومتها لعامل القدم

- السيليكونات Silicones:

تتميز السيليكونات بخواص المقويات العضوية وغير العضوية فى نفس الوقت ، أى أن جــــزء منها عضوى ، وآخــــر غير عضوى راجع فصل (١١).

لذلك فإننا نجد أن السيليكونات من الممكن أن تمثل حل وسط بين خواص كل من : المقويات العضوية وغير العضوية عند التقوية .

السيليكونات فى طبيعتها تحتوى على جزء عضوى ، وجزء آخر غير عضوى، لذلك فهى تجمع فى خواصها بين مجموعتى المقويات - كما أسلفنا.

ومن أهم خواص السيليكونات الهامة جدا والمفيدة جدا عند استخدامها فى التقوية ، أنها مواد طاردة للماء ، وبما أن الماء عامل أساسى من عوامل تلف المواد الأثرية ، فإن خاصية طرد الماء Water Repllency عامل هام يخفض معدلات تلف هذه المواد .

أيضا فإن السيليكونات تتأكسد بواسطة الأكسجين والضوء ، بصورة أكثر بطئا من راتنجات ثرموسيتنج.

- المقويات المؤقتة Temporary consolidants:

تستخدم المقويات المؤقتة عندما يكون المطلوب تقوية الحجر فى الحال، ولكن القرار النهائى فى اتخاذ النوع الأمثل فى عمليات الصيانة يجب أن يتخذ ويكون له الأولوية ، وعادة تستخدم فى مثل هذه الحالات ، أيا من راتنجات الثرموبلاستيك أو راتنجات الثرموسيتنج . انظر الفصل (١٠) حسب الحالة التى يراها المرمم .

راتنجات ثرموبلاستيك لاتتخلل مسام الحجر الصغيرة بسهولة، وذلك لأن جزئياتها كبيرة جدا، أيضا فإن خواصها الميكانيكية أقل من الخواص الميكانيكية لراتنجات ثرموسيتنج.

وبالرغم من ذلك فإن راتنجات ثرموبلاستيك تتمتع بصفة العكسية Reversible حيث يمكن إذابتها وتحويلها إلى حالة السيوله باستخدام أحد المذيبات المناسبة ، في حين أن راتنجات ثرموسيتنج والسيليكونات ، والمقويات غير العضوية ، مواد غير عكسية Irreversible Materials أى غير قابلة للإذابة .

علاوة على ذلك ، بعض راتنجات الثرموبلاستيك، وبصفة خاصة ، راتنجات الاكريلك Acrylic resins أكثر مقاومة لعملية الأكسدة من راتنجات ثرموبلاستيك.

ولاشك أن عملية اختيار المقوى المناسب للحجر المتحلل تظل عملية صعبة الحل فى معظم الحالات ، ويجب أن تتم على أسس سليمة، وغالبا ماتتم عملية الإختبار بناء على إختبارات التجوية المقارنة Comparative wathering tests التى تتم على عينات من الأحجار.

فى مثل هذه الاختبارات يتم عمل عينات من الأحجار ، ومعالجة بعض منها بمقويات مختلفة ، وترك بعضها دون علاج ، وتعريض الجميع فى نفس الوقت لدورات التجوية ، ويتم بعد ذلك مقارنة النتائج التى يتم الحصول عليها.

كما يعتمد إختيار طريقة التقوية فى بعض الأحيان على نوع الحجر ، فالحجر الرملى ، يفضل أن يعالج بمقويات من نوع السيليكا فى حين يفضل

معالجة الحجر الجيرى باستخدام مقويات من نوع كربونات الكالسيوم أو كربونات الباريوم .

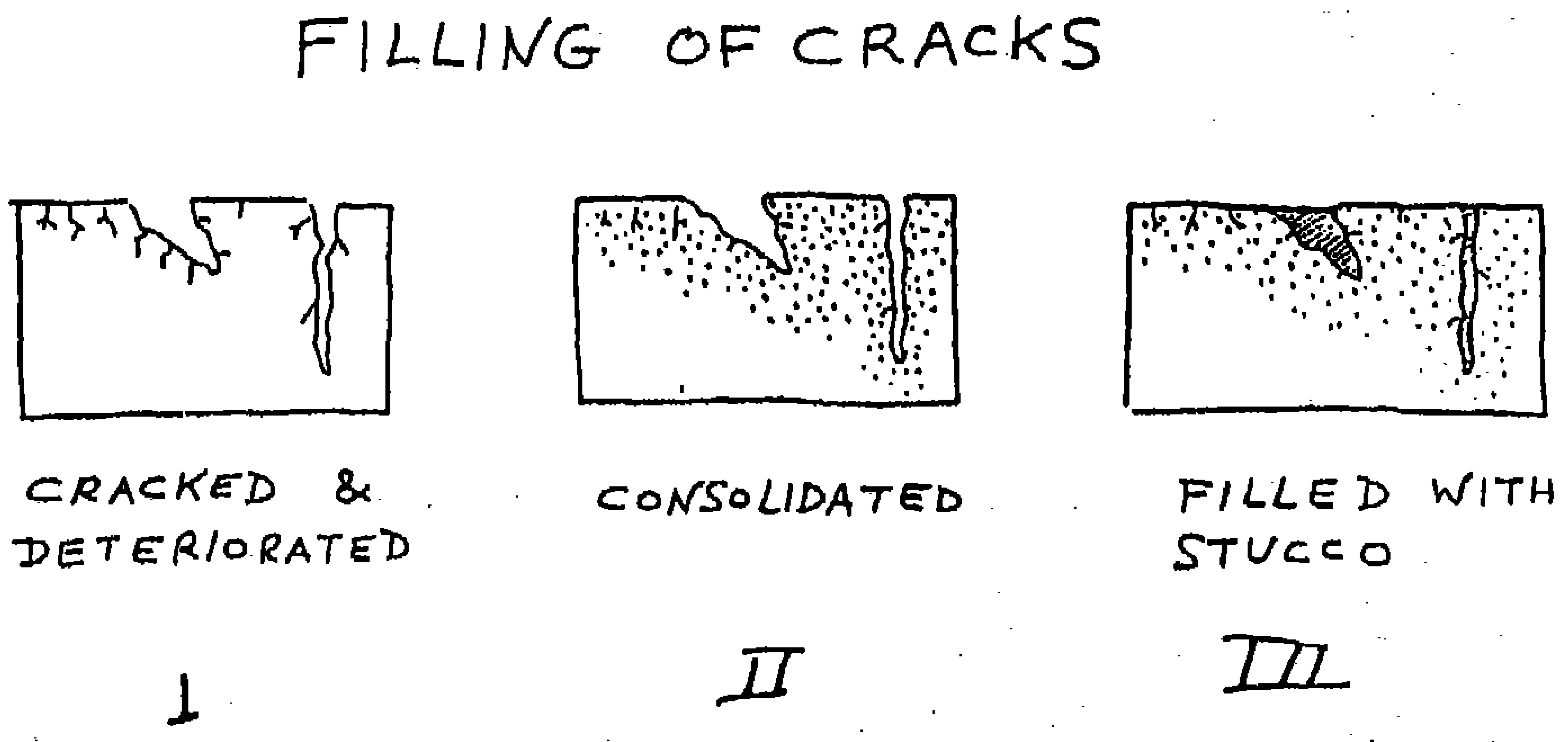
السيليكونات وراتنجات ثرموسيتنج يمكن تطبيقها على أى نوع من أنــــواع الحجــــر.

- اللواصق والمعاجين **Adhesive & Stuccoes :**

عمليات التقوية عادة لاتسد الفتحات التى تزيد عن ١٠مم ، لذلك فإننا غالبا مانلجأ إلى المواد اللاصقة ، وذلك لمعالجة الشروخ الواسعة حتى لاتكون سببا فى تجميع المياه داخلها .

لذلك فإنه من أهم متطلبات ترميم الأحجار ، محاولة دمج سطح الحجر Compact surface حتى نتجنب تخلل السوائل الضارة Aggressive Liquids داخل مسامه ، وكذلك لمنع تأثير الملوثات البيئية على السطح ، ويتم ذلك من خلال ملء الشروخ بمادة لاصقة مناسبة ، من شأنها تحسين الخواص الميكانيكية للمنطقة المحيطة بالشروخ، وكذلك غلق الطرق أمام المياه الزائدة حتى لاتتغلغل داخل الأحجار.

وتعتبر راتنجات ثرموسيتنج ، خاصة راتنجات الإيبوكسى ، فى الحالة السائلة ، من أكثر الراتنجات إستخداما فى معالجة الشروخ الدقيقة حيث يتم إستخدامها مع مالء مناسب فى صورة معجون . أما فى حالة الشروخ الواسعة نوعا فيستخدم عادة معاجين تتكون من : مالء مناسب ، عادة بودرة الحجر نفسه ، مع مادة رابطة ، إما أن تكون عضويه - راتنج صناعى - أو غير عضويه - جير نقى أو سيليكات الإيثيل Ethyl Silicate . انظر الشكل رقم (٤٦).



شكل (٤٦) يوضح

أسلوب معالجة الشروخ والفجوات داخل الأحجار .

١- شروخ وفجوات .

٢- الشروخ والفجوات بعد تقويتها .

٣- الفجوات بعد ملئها .

٧-٤- الحماية Protection:

- الأغشية السطحية Surface Films:

طريقة استخدام الأغشية السطحية لحماية سطح الحجر طريقة قديمة، استخدمت فى الماضى ، ومازالت تستخدم حتى الآن .

والمواد التى استخدمت لهذا الغرض شملت : الزيوت الجفوفه مثل : زيت بذر الكتان Linseed oil والدهن الحيوانى Animal Fats والشموع Waxes وشمع البرافين Paraffin wax.

ولكى يتم استخدام الأغشية السطحية لحماية الأحجار يجب تنفيذها فوق سطح قوى ونظيف ، وعادة يكون العلاج جيدا، إذا كان سطح الحجر لم يتعرض مسبقا لظروف التجوية Unweathered أما الحجر الذى تعرض للتلف بسبب التجوية، فيجب أولا تنظيفه ، إذا كان متسخا Dirty وتقويته إذا كان ضعيفا .

هذا وتعطى طبقات التغطية السطحيه حماية جيده فى حالة الأحجار قليلة المساميه، أما فى حالة الأحجار عالية المساميه فقد يحدث أن تتسرب المياه إلى الحجر من طرق جانبية غير السطح ، وفى هذه الحالة ، فإن زيادة المياه تؤدى إلى نمو الضغوط الداخليةInternal stresses فى السطح البينى (بين الغشاء والحجر).

وبالرغم من ظهور مواد كثيرة ، لها خواص جيدة ، وأنواع تجارية منها، تعطى درجات مختلفة من التقويه، إلا أن شمع البرافين - فى العصر الحديث - مازال مستخدما كمادة حماية جنبا إلى جنب مع شمع الميكرو كريستالين Micro crystalline wax.

كما أن راتنجات الأكريلك ، والسيليكونات أيضا مازالت مستخدمة كمادة حماية سطحية لأسطح الأحجار.

وبصفة عامة فإن الاتفاق على استخدام المواد الكيميائية فى عملية التغطية السطحية ، يجب أولا إختبارها لمعرفة قدرتها على حماية سطح الحجر ضد عوامل التجويه من عدمه، وذلك قبل استخدامها كمادة تغطية سطحيه ، مع مقارنة نتائج الاختبارات ، واختيار أفضل المواد التى تحقق الغرض .

وقد يكون من الأفضل إختيار مادة حماية لهـا عمـر محـدد ، أو عمـر إفتراضى معروف ، وذلك لاستخدامها كطبقة حمايه قربانيه Sacrificial مـع مراعاة إتخاذ الاحتياطات اللازمة لتكرار عملية التغطية فـور إنتهـاء العمـر الافتراضى للمادة المستخدمة فى الحماية .

- الحماية البيئيه Enviromental protection:

لاشك أن التحكم فى عوامل التلـف البيئيـة التـى تؤثـر علـى الأحجـار تشكل أفضل طرق حمايتها ...

لذلك يرى بعض العلماء ، نقل الأحجار إلى بيئة متحكم فيها ، خاصـة الأحجار التى يسهل نقلها .. كالتماثيل الصغيرة .. وغيرها .. ولكن هذا الحـل لايكون دائما ملائمـا لكـل أنـواع الأحجـار ، خاصـة ، تلـك المسـتخدمة كمـادة إنشاء.

لذلك إقترح العلمـاء حـلا آخـر .. وهـو إسـتخدام طبقـة حمايـة مؤقتـه Temporary protection حيـث يتـم عـزل سـطح الحجـر باسـتخدام طبقـة عزل حرارية معتمه An Opque Thermal Insolation Layer على شكل خزائن عرض كبيرة .

ويجب أن يكون واضحا ، أنه يتم الإزالة الدوريـة لهذ الطبقـة عندمـا يصبح الجو صافيا فى المواسم التى يقـل فيهـا تلـوث الهـواء ، وتنخفـض فيهـا نسب التكاثف ، ولايحدث فيها تجمد للمياه داخل مسام الحجر.

وفى هذه الحالة فقط يمكن كشـف الحجـر ليراه الـزوار ، وكذلـك ليتـم الكشـف الدورى عليه وفحصه بمعرفة المسئولين عن عمليات الصيانة.

أيضا فإن خزائن العرض الشفافة Trans parent show cases حل آخر بديل، إلا أن خطورتها تكمن فى أن درجة الحرارة بداخلها ، قد ترتفع بصورة كبيرة ، عندما تتعرض لأشعة الشمس المباشرة ، كما يحدث فى الدفيئة Green house أو المباشرة ، كما يحدث فى الدفيئة Green house أو مايسمى: تأثير الصوبه الزجاجية Green house effect كما أن التمدد الحرارى الناتج عن ذلك- تأثير الصوبه- يسبب ضغوط مختلفة على الحجر.

على جانب آخر فإن تكييف الهواء داخل فترينات العرض غالى جدا، وغير موثوق فيه Unreliable.

الأسقف الخارجية يمكن حمايتها ضد المطر ، ولكن يصعب حمايتها من ظاهرة التكاثف ، لذلك فإن اختيار الحلول المناسبة لمعالجة السطح بطبقة رقيقة واقية يمكن أن يكون حلا مناسبا لحماية سطح الحجر من التكاثف .

وبصفة عامة يمكن الوصول إلى حماية بيئية جيدة للأحجار فى الحالات الآتية :

* مراجعة نظم المياه داخل المبانى ، وفى هذه الحالة يمكن التحكم فى نسب إرتفاع الرطوبة داخل الجدران .

* التحكم فى البيئة ، وفى هذه الحالة يمكن وقاية سطح الأحجار من ظاهرة التكاثف.

ولكن فى كثير من الأحيان يصعب تطبيق هذه الاقتراحات خاصة فى حالة الأحجار ذات القيمة الغنية ، الموجودة فى الأسطح الخارجية للمبانى ، والتى تتعرض مباشرة لعوامل التجوية الشديدة .

- الحفظ Maintenance:

كل إقتراحات صيانة الآثار لها زمن محدد ... بمعنى أن كل مادة قد تستخدم فى صيانة المواد الأثرية لها عمر إفتراضى ، أحيانا لايمكن توقع إنتهاؤه بدقة ...

لذلك فإن صيانة الآثار أو الأحجار الأثرية يتطلب توقع فترة زمنية محددة ، لنظام صيانة محدد .. يمكن إستخدامه فى هذه الفترة .. وقد لايصلح فى المستقبل ، حيث يمكن ظهور نظام آخر أفضل منه ...

فمثلا، إذا فشلت نظم الحماية المختلفة المعروفة حاليا – نظم الحماية ضد مياه المطر ، الأغشية السطحية الواقية ، الأسقف ... الخ – قد يكتشف فى وقت آخر، أو فى المستقبل ، نظم أخرى أكثر قدرة على حماية سطح الأحجار من سابقتها ، لذلك يجب باستمرار تطوير نظم الحماية المختلفة للمبانى الأثرية ..

كما أن سياسة حماية المبانى الأثرية تتطلب تغييرات عميقة فى نظم البناء ، وتدريبات متوالية على خدمات الصيانة .. وهذه تشمل:

تطوير الأدوات، والعدد، والآلات، وإدخال نظام التحكم الآلى Remote Control فى المواد والآلات المستخدمة فى الصيانة .

ويكون الهدف من هذه السياسة تجنب هجوم عمليات التلف بصورة تفوق إجراءات الصيانة ، مما يضر عمليات الترميم ويجعلها غير ذات قيمة .

وفى النهاية يجب اعتبار الأحجار القديمة ، مثل مريض فى مستشفى، أو مريض يحظى بالرعاية الكاملة داخل بيته، لذلك يجب عمل تقرير تحليلى Aclinical file مبنى على الملاحظة الدقيقة للأثر ، لكى يمكن إنقاذه بقدر

المستطاع .. كما يجب وضع مثل هذا التقرير بل وكل الحقـائق عـن الأثـر .. فـورا، وبصـورة دوريـه أمـام المتخصصيـن لمعرفـة حالـة الأثـر ... كمـا أن الزيارات الدورية المتكررة، والتقارير العاجلة ، تشبه التمرينات الطبيـة، التـى يجب فعلها باستمرار بمعرفة القائمين على الصيانة ..

الفصـــل الثامـــن

الطفله والطوب اللبن والطوب المحروق

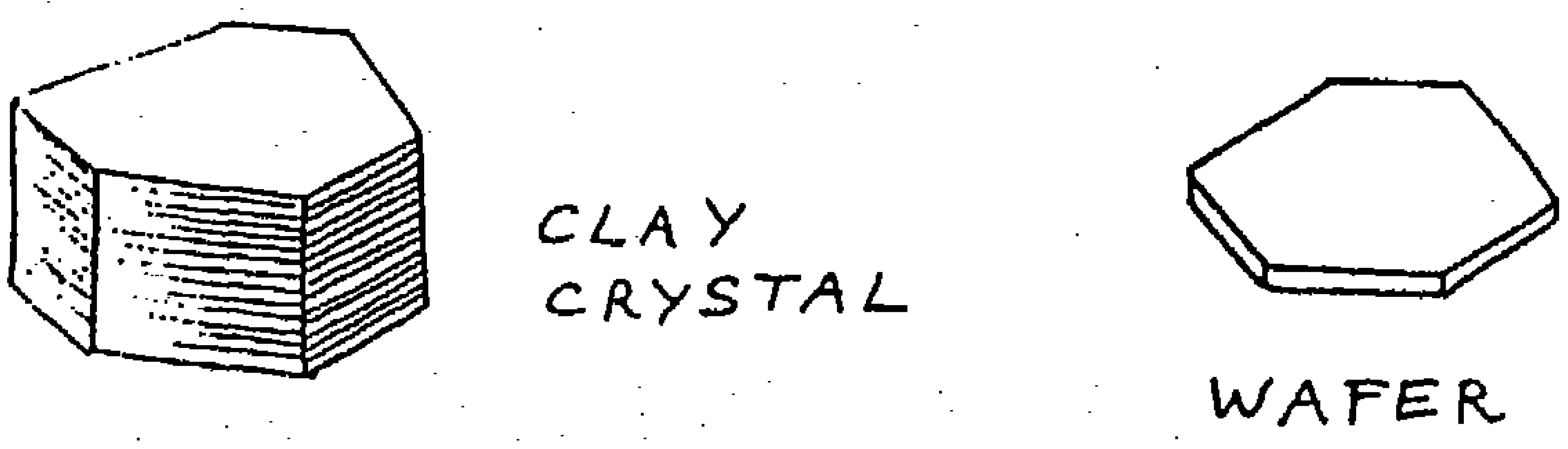
Clay, Adobe, Bick

٨-١ - معادن الطفلة Clay minerals :

الطفلـة عبـارة عـن : معـادن تكونـت بواسـطة التجويـة المناخيـة Atmospheric weathering لأنواع مختلفة من الصخور .. هـذه المعـادن تتكون بصفة أساسية من :

- أكسيد السيليكون ،ويسمى أيضا : سيليكا Silica, SiO_2
- أكسيد الألومنيوم ، ويسمى أيضا : الومينا Alumina , Al_2O_3

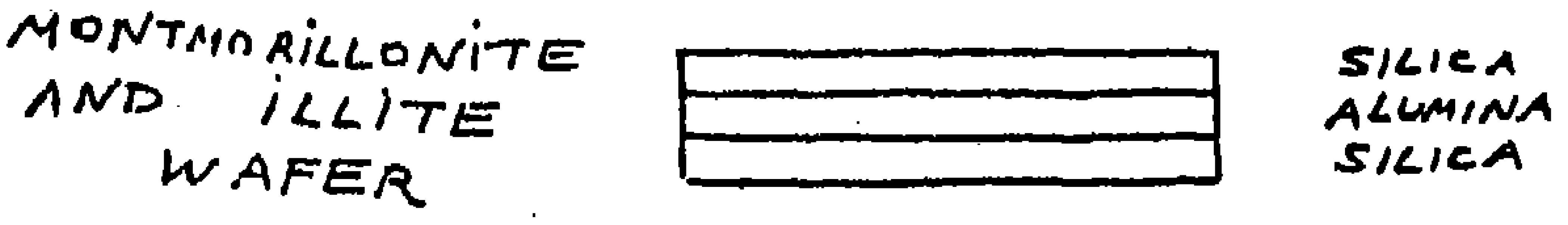
وبلورات معادن الطفلة صغيرة جدا ، أقل من ٢ ميكرون ؛ وغالبا تاخذ شكل قريب من السداسى Hexagonal shape وكل بلـوره تتكون من عدة مئات من الرقائق السداسية الشكل.. كما هو موضح فى الشكل رقم(٤٧).



شكل رقم (٤٧) يوضح

شكل بلورة الطفلة .. وأحد رقائقها

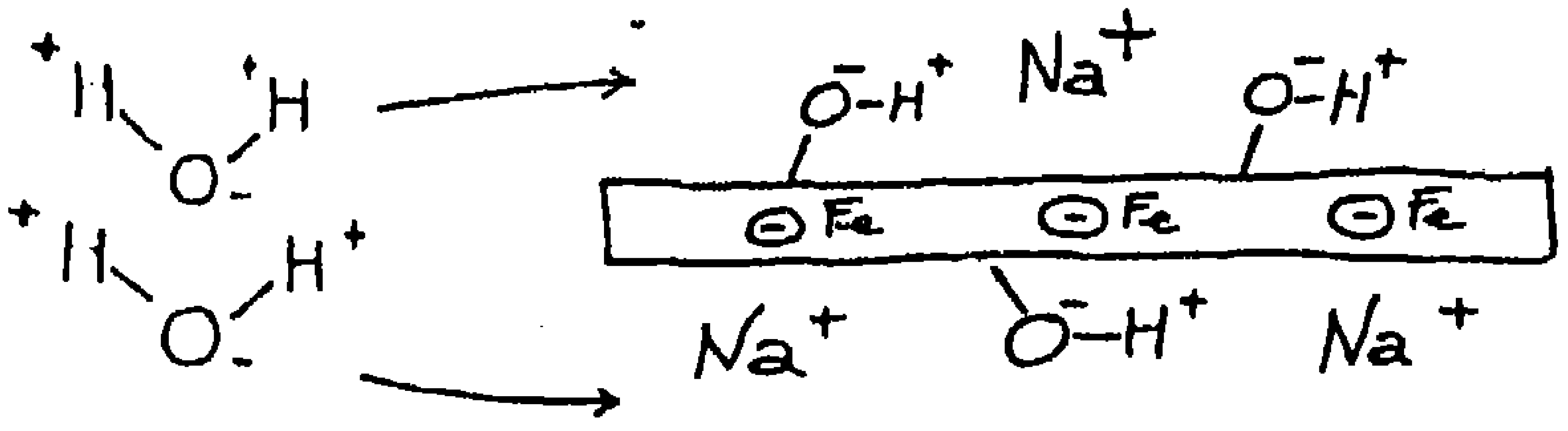
وتتكـون الرقيقـة الواحـدة فـي معظـم الطينـات الشـائعة ،مثـل مونتموريلونيت Montmorillonite أو الليت Illite من طبقتين مـن السـيليكا بينهما طبقة من الألومينا ... كما هو واضح من الشكل رقم (٤٨).



شكل رقم (٤٨) يوضح

تركيب رقائق بعض أنواع الطفلة

وتحمل رقائق الطفلة مجموعات هيدروكسيل (OH -) وبالتالى تحمل شحنات سالبة Negative charges وذلك طبقا لوجود الشوائـــــب، مثل : الحديد (Fe) الذى يمكن أن يحل محل السيليكون أو الألومنيوم حتى لو كانت شحنتها أقل إيجابية كما هو موضح فى الشكل رقم (٤٩).



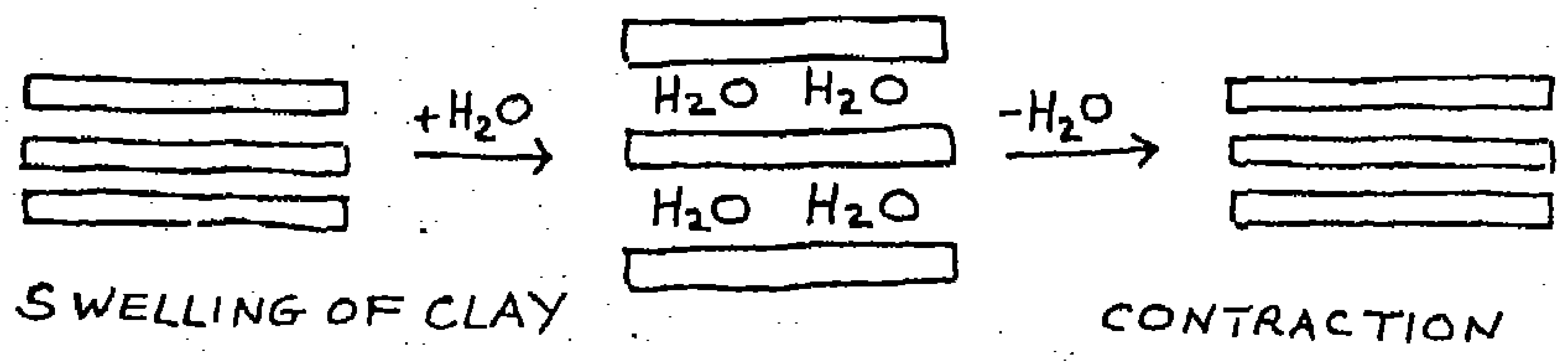
شكل رقم (٤٩) يوضح

أيون الحديد الموجود فى الطين

ويلاحظ أن وجود الحديد فى الطفلة يسبب لون أصفر أو أحمر عند حرق الطين Fired Clay أو اللون الأخضر عند وصول الطفلة لدرجة الانصهار أثناء الحرق .

معدن مونتموريلونيت .. يحتوى على أيون الصوديوم الموجب الذى يوجد باستمرار بين الرقائق .. هذا الصوديوم يعمل على جذب الماء ، الذى من الممكن أن يتخلل البلورات كما لو تم جذبه بواسطة مجموعات الهيدروكسيل .. ويؤدى إلى انفصال الرقائق .

وزيادة الماء فى الطفلة يؤدى إلى زيادة المسافة بين الرقائق وبالتالى يؤدى إلى انتفاش الطين فى الجو الرطب ... وعندما يتم فقدالماء ، فى الجو الجاف ، يخضع الطين فى هذه الحالة لعملية الإنكماش Contraction. انظر الشكل رقم (٥٠)

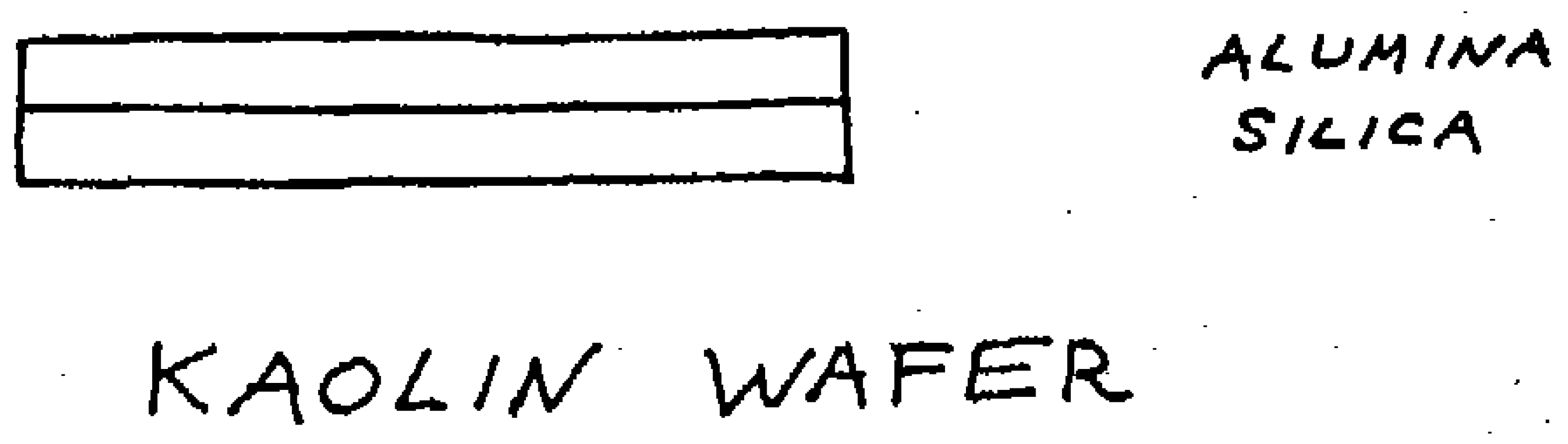


شكل رقم (٥٠) يوضح

إنتفاش الطفلة وإنكماشها

معدن الليت .. يحتوى على الكالسيوم بين رقائقه ، هذا الكالسيوم يسبب تجاذب قوى بين هذه الرقائق ، ولذلك فإن إنتفاش الليت يكون قليلا ...

معدن الكاولينيت .. أنقى أنواع الطين ، ولايحتوى على الحديد ، ويتكون من : طبقتين من الرقائق ، أحدهما : السيليكا والثانية الألومينا ... انظر الشكل رقم (٥١).



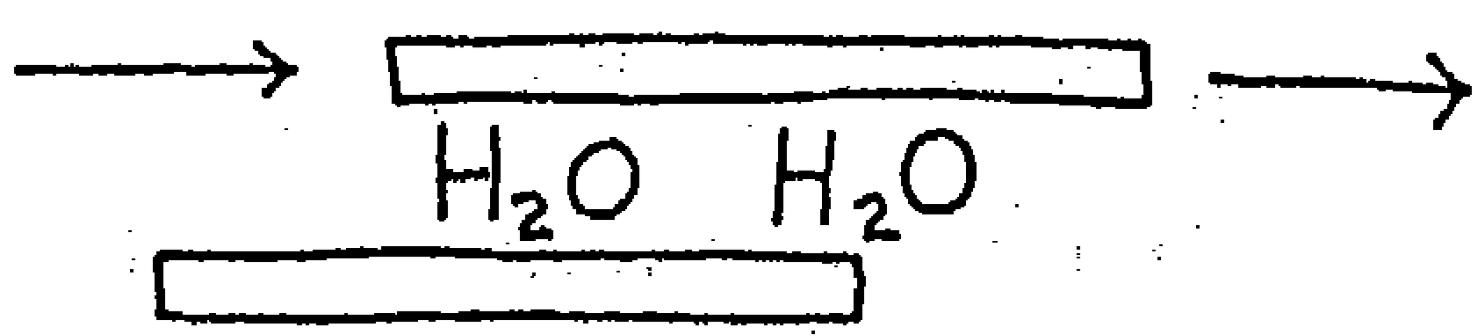
شكل رقم (٥١) يوضح

رقيقة كاولينيت

وكنتيجة فإن الرقائق لاتحمل شحنة سالبة ، ولاتوجد أيونات محشورة بينهما، ولكنها ترتبط مع بعضها بواسطة رابطة هيدروجينية قوية ، والماء لايمكن أن يفصلها عن بعضها ..

لكن فى بعض أنواع الكاولين يحدث إنتفاش قليل عندما ينجذب الماء نحو سطح البلورات الدقيقة المستوية The Thin, Flat Crystals ويستطيع فصلها عن بعضها ..

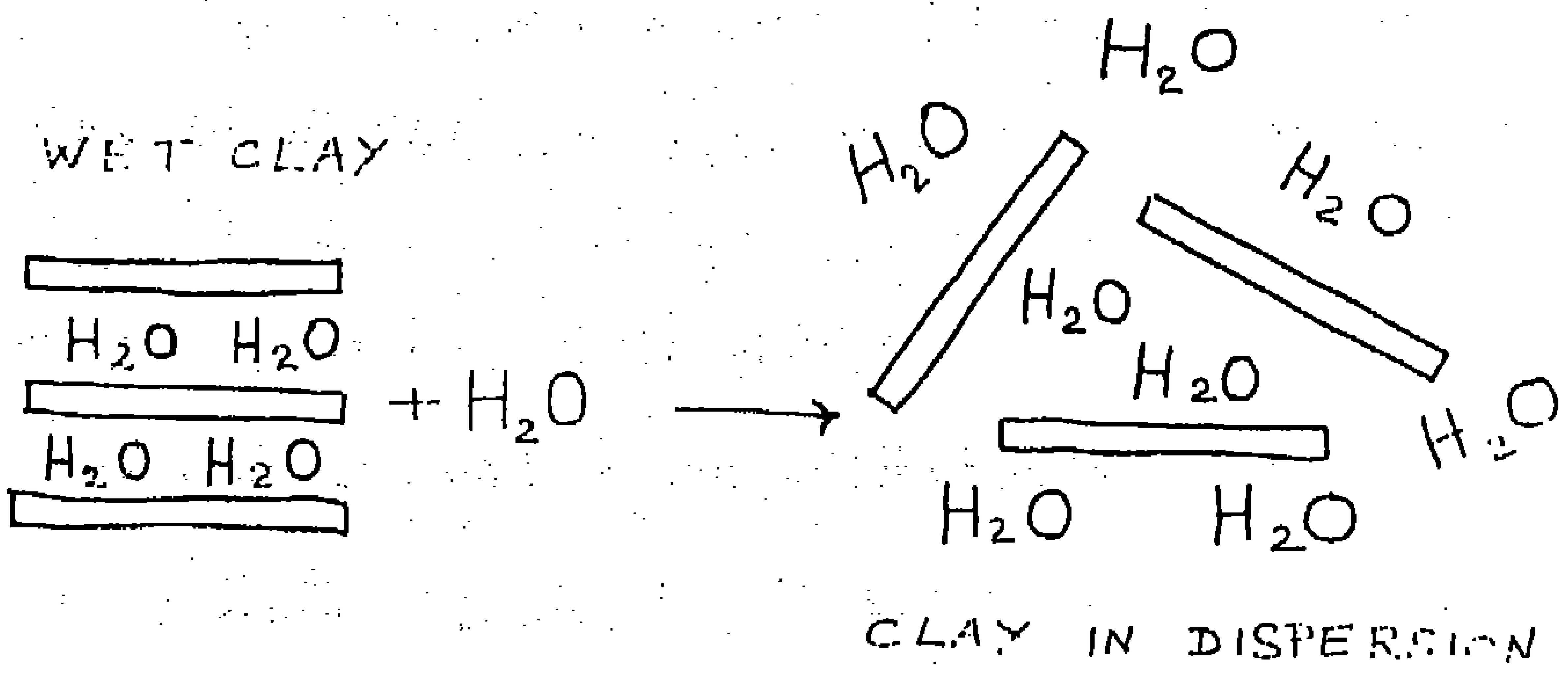
ويلاحظ أن كل الطفلات الطينية تصبح لدنه Plastic عند البلل ، لأن البلورات الدقيقة تنزلق من فوق بعضها تحت أقل ضغط Under a Slight Pressure أنظر الشكل رقم (٥٢).



شكل رقم (٥٢) يوضح

إنزلاق بلورات الطفلة عند البلل

وإذا أضفنا مياه أكثر إلى الطينة المبللة ، فإن بلوراتها تتفكك تفككا كاملا، وتصبح منتشرة أو متفرقة Dispersed .. أنظر الشكل رقم (٥٣)



شكل رقم (٥٣) يوضح

يوضح تفكك بلورات الطين عند زيادة المياه

تتكون التربة عادة من : معادن الطين ، بالاضافة إلى معادن أخـرى ، مثـل : الفلسبار Feldspar وكربونـات الكالسـيوم Calcium Carbonate والرمل Quartz ... الخ.

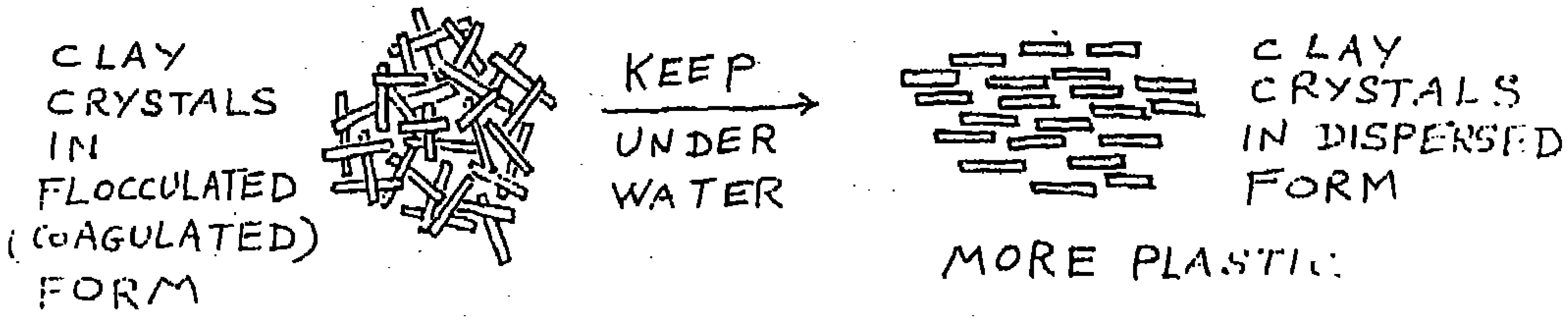
والمعادن الأخيرة غالبا ماتكون حبيباتها أكبر من حبيبات الطين . وقد أمكن تصنيف مكونات التربة طبقا لحجم حبيباتها فقط إلى مايلى :

- الطين : أقل من ٢ ميكرون .
- الغرين : من ٢-٢٠ ميكرون .
- الرمل : من ٢٠-٢٠٠٠ ميكرون (٢مم).
- الزلط : أعلى من ٢ مم.

والتربـة الغنيـة بالطفلـة Clay-rich soil تكـون لبنـه زيتيـة الملمـس Greasy to the touch وعند الجفاف تتكمش بقـوه ويحـدث بهـا شـروخ أو شقوق ، وذلك على عكس التربة الغنية بـالرمل A Sand- rich soil التـى لاتكون لدنه وجافة الملمس Dry to the touch.

٨-٣- التربة كمادة بناء Soil as building material :

تتكون التربة من معادن الطفلـة بالإضـافـة إلـى معـادن أخـرى، مثـل: الفلسبارات والجير والرمل .. الـخ .. كمـا سـبق الذكـر ، وتعتـبر الطفلـة هـى المادة الرابطة الأساسية فى التربة الطينية ، وغالبا ماتترتب بلوراتها فى شـكل إندمـاجى flocculated Form وهـى فـى هـــــــذه الحالـة تكـون غـير لدنه Not very plastic لكن عندمـا يضـاف المـاء إلـى الطفلـه فـإن بلوراتـها يحدث بها تغييرات تؤدى إلى تفككها ، وتصبح أكثر لدونـه More plastic انظر الشكل رقم (٥٤).



شكل رقم (٥٤) يوضح

شكل الطفلة قبل إضافة الماء اليها وبعد غمرها بالماء

ولكى يتم تجهيز مواد بناء من التربة ، يستلزم دائما تخزين التربة الغنية بالطين لفترة زمنية تحت الماء حتى يتم تحسين لزوجتها Plasticity.

كما أن وجود المعادن غير الطينية يكون ضروريا كمواد مالئة حاملة Inert Filler تقلل من إنكماش الطين عند الجفاف، وكذلك تجنبه التشقق.

وأحيانا – عند الضرورة – يضاف الرمل، خاصة إذا كانت التربة غنية بالطين، وأيضا ناعمة الملمس .

وهناك إضافات أخرى يحتمل إستخدامها مثل :

أ – ألياف المواد العضوية .. قش الأرض أو التبن أو شعر الحيوان .

ب – روث المواد العضوية .. ويعتبر لاصق ضعيف ، قليل التكاليف .

ويجب ملاحظة أن : المواد الليفية Fibrous materials تحسن من قوى شد المنتج النهائى حيث تكون قليلة جدا ، على العكس من ذلك ترفع قوى الضغط بصورة معقولة من ١٠-٤٥كجم/سم٢.

أما الإضافات العضوية فمن الممكن أن تحسن قوى الصد أو المنع للماء The resistance to water وتشكل رباط قوى بين رقائق الطين ، وتعوق عملية تفرق هذه الرقائق Hindering dispersion.

- صناعة الطوب اللبن :

يصنع الطوب اللبن من قوالب مربعة ، – هكذا ذكر المؤلف ، لكنها في مصر تكون مستطيلة – ذات زوايا قائمة مفتوحة من أسفل ، حجمها يصل تقريبا إلى واحد قدم ، وسمكها يتراوح بين ٦-١٠سم.

والمونة المستخدمة فى صناعة القوالب ، تشبه فى الغالب المونة المستخدمة فى البناء .

وعند البناء بقوالب الطوب اللبن ، قد يتم ربطها مع بعضها بمواد أخرى ،وذلك للتغلب على نقاط الضعف فى هذه المبانى .. هذه المواد هى :

* الخشب: عندما يتطلب البناء مقاومة إجهادات الشد أو الثنى .

* حصير الياف النخيل : وذلك لتوزيع إجهادات الضغط فى الإنشاءات الثقيلة .

* أحبال شجر الأسل : للربط الداخلى فى الإنشاءات الثقيلة .

* الطوب المحروق : للحماية من التجوية .

* الحجر : فى الأساسات أو القواعد لمنع الماء من التسرب إلى الحوائط.

وعادة تغطى أسطح المبانى التى تشيد بالطوب اللبن ، بشيد الطين ، الذى يقوى أحيانا بمواد ليفية، مثل : التبن أو قش الأرز . وإن كان هذا الشيد يتلف بسرعة .. لذلك يجب تجديده باستمرار .

فى نماذج أخرى لتكنولوجيا البناء بالطين ، يتـم تجهيز المـواد تقريبـا فى شكل كرات، ثم تحفظ مبللة لفترة من الوقت ، وبعدئذ توضـع فـى أماكنهـا فى البناء، وتدمك أو تدمج جيدا مع بعضها حتى ينتهى البناء المطلوب.

" أى أننا فى هذا التكنيك لاتصنع قوالب طـوب ، بل تستـخدم المونـة مباشرة فى البناء .. ويسمى هذاالنوع من البناء فى مصر: البناء بالطوف ".

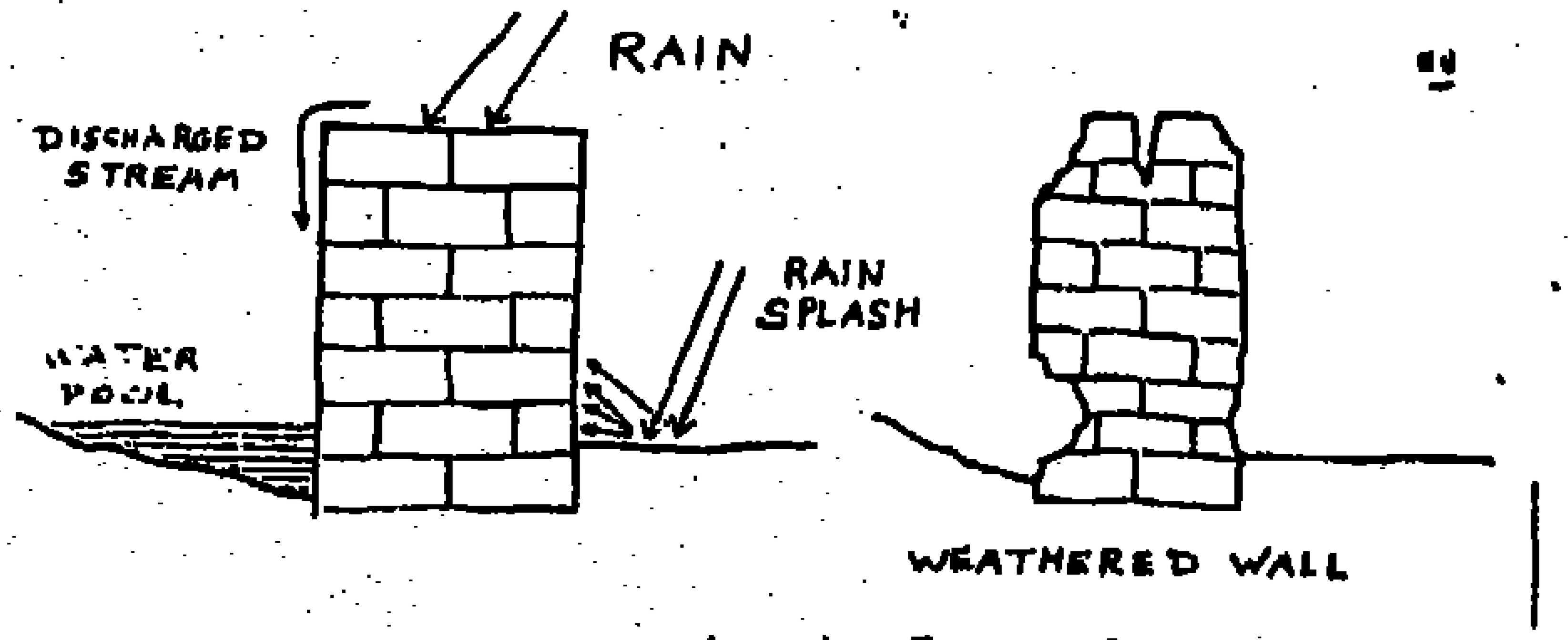
أما عندما تستخدم التربة فى عمل الخرسانة، فإنه يحتمل إضافة حصـى أو حجارة أو كسر فخار لمواد التربة ثم تخلط جميعها ويضاف اليها الماء.

٨-٤- تجوية منشآت الطوب اللبن :

Weathering of Mud- Brick Structures

المطـــــر هو العامل الرئيسى فـى تجويـة المبـانى المشـيدة بـالطوب اللبن، حيث أن زيادة المياه تؤدى إلى تفرق معادن الطين بصـورة كاملـة ، ثـم تزيحها بعيدا عن مكان تواجدها Was hed away .

هذه الحالة تحدث مباشرة ، عندما تتعرض المبانى إلى أمطار قوية .. وتحدث بصورة غـير مباشـرة عندمـا تسـيل الميـاه علـى جدران المبـانى ، أو تشكل برك Pools متصلة بالمبانى .. انظر الشكل رقم (٥٥).



شكل رقم (٥٥) يوضح

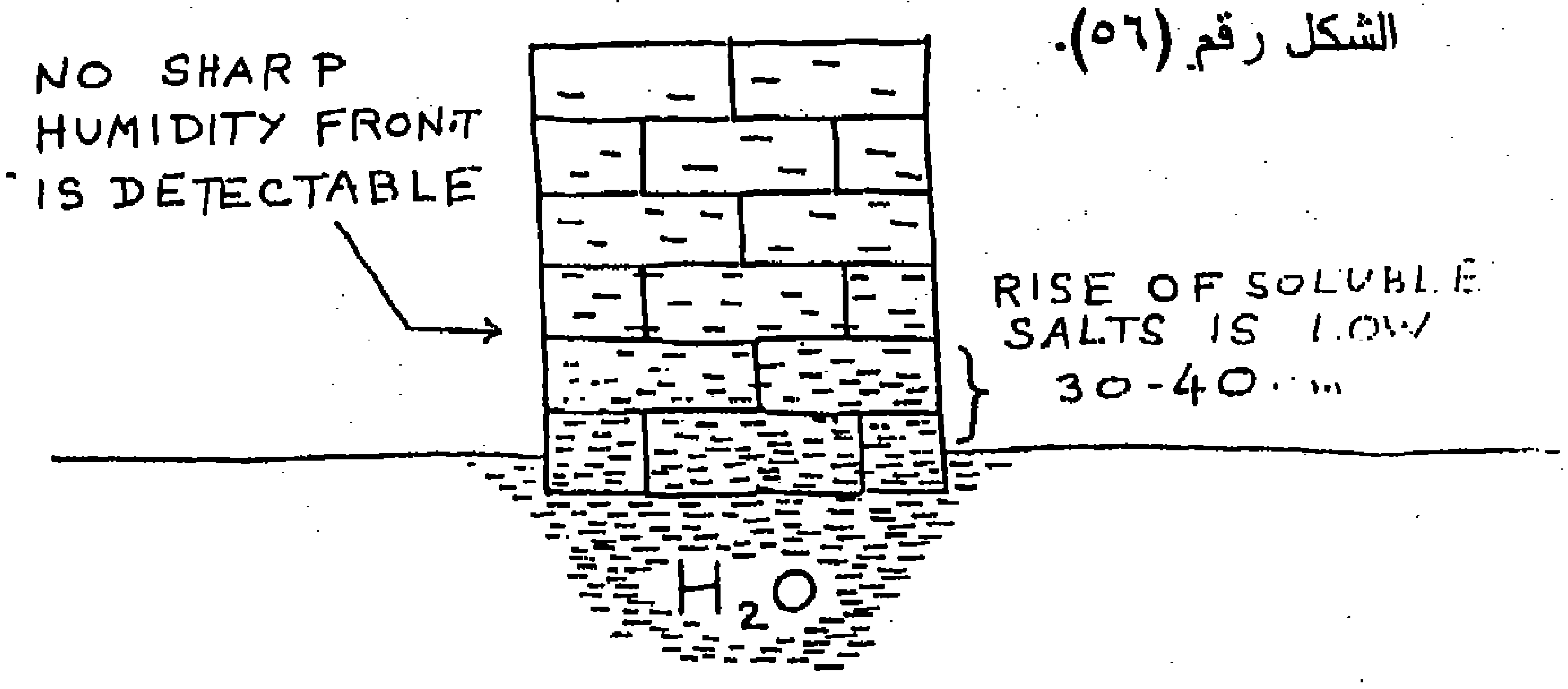
تجوية المبانى المشيدة بالطوب اللبن

العامل الثانى من عوامل تجوية مبانى الطوب اللبن، **الرياح**: وهو عامل هام، ويؤثر بصفة أساسية عن طريق الظاهرة المعروفة باسم : النسف بالرمل Sand-Blasting .

العامل الثالث من عوامل تجوية مبانى الطوب اللبن ، **الثلج** : وهو عامل تحلل محتمل ، لو سمح بتراكمه قرب الحوائط ، ثم اذيب بعد ذلك .

أما عامل **الارتفاع الشعرى** يقل خطورته فى مبانى الطوب اللبن على العكس من ذلك يزداد فى حالة البناء بالطوب المحروق وبصفة عامة لايتعدى الارتفاع الشعرى ٣٠-٤٠سم فى مبان الطوب اللبن ، وذلك لأن المحتوى المائى للحوائط المبللة يختلف طبقا لارتفاع الحوائط وكذلك درجة اتصالها بمصدر الماء .. إذ يقل المحتوى المائى للحوائط فى الأجزاء البعيدة عن المياه .

لذلك فإن الارتفاع الشعرى ، وكذلك تبلور الاملاح الذائبة ، لايشكلان خطورة كبيرة للمبانى المشيدة بالطوب اللبن إلا فى حالات خاصة .. انظر الشكل رقم (٥٦).



شكل رقم (٥٦) يوضح

الارتفاع الشعرى فى مبانى الطوب اللبن

٨-٥- حماية مبانى الطوب اللبن :

Protection of mu9d- Brick Structures

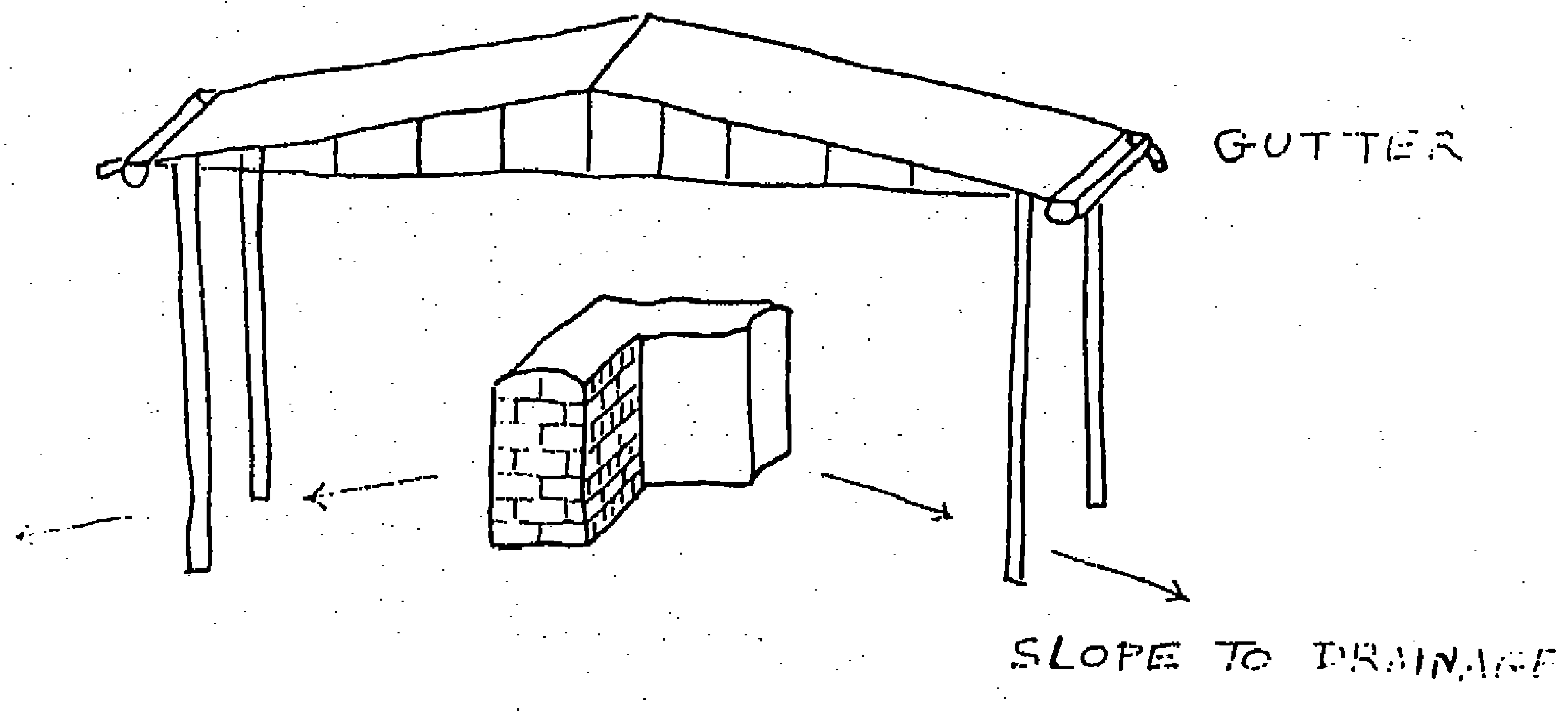
- الحفائر الأثرية **:Archaeological Excavation**

مبانى الطوب اللبن تحفظ جيدا عندمـــا تكـون مدفونـه تحـت الأرض ، لذلك يجب حمايتها مباشرة فور الكشف عنها ..

وفيما يلى نذكر بعض طرق حماية مبانى الطوب اللبن .

أ- العزل التام باستخدام الأسقف **Total Protection -Shed**

حيث يتم عمل سقف فوق مبنى الطوب اللبن مع عمل ميـول بالسـقف تفضـى إلـــى مزاريـب جانبيـة، لتصريـف المياه مـن فـوق السـقف ، ولايجـب السماح بتكوين برك مياه قرب الحوائط ، ويجب عمل منحدرات ، ونظام جيـد لتصريف المياه .. انظر الشكل رقم (٥٧).



شكل رقم (٥٧) يوضح

اسلوب الحماية بالأسقف للمبانى الطينية

ب - العزل التام عن طريق اعادة الدفن :

Total proetion - Re Burial

حيث ثبت ، أن مبانى الطوب اللبن تحفظ جيدا إذا أعيد دفنها فى الأرض بعد الكشف عنها .. كما سبق الذكر ..

جـ - العزل الجزئى **Partial protection:**

ويشمل بعض الخطوات نوجزها فيما يلى :

* ترميم الحوائط وتغطيتها بتربة أسمنتية Soil- Cement أو مونة أساسها الطفلة الطينية والأسمنت ونسب مكوناتها كما يلى :

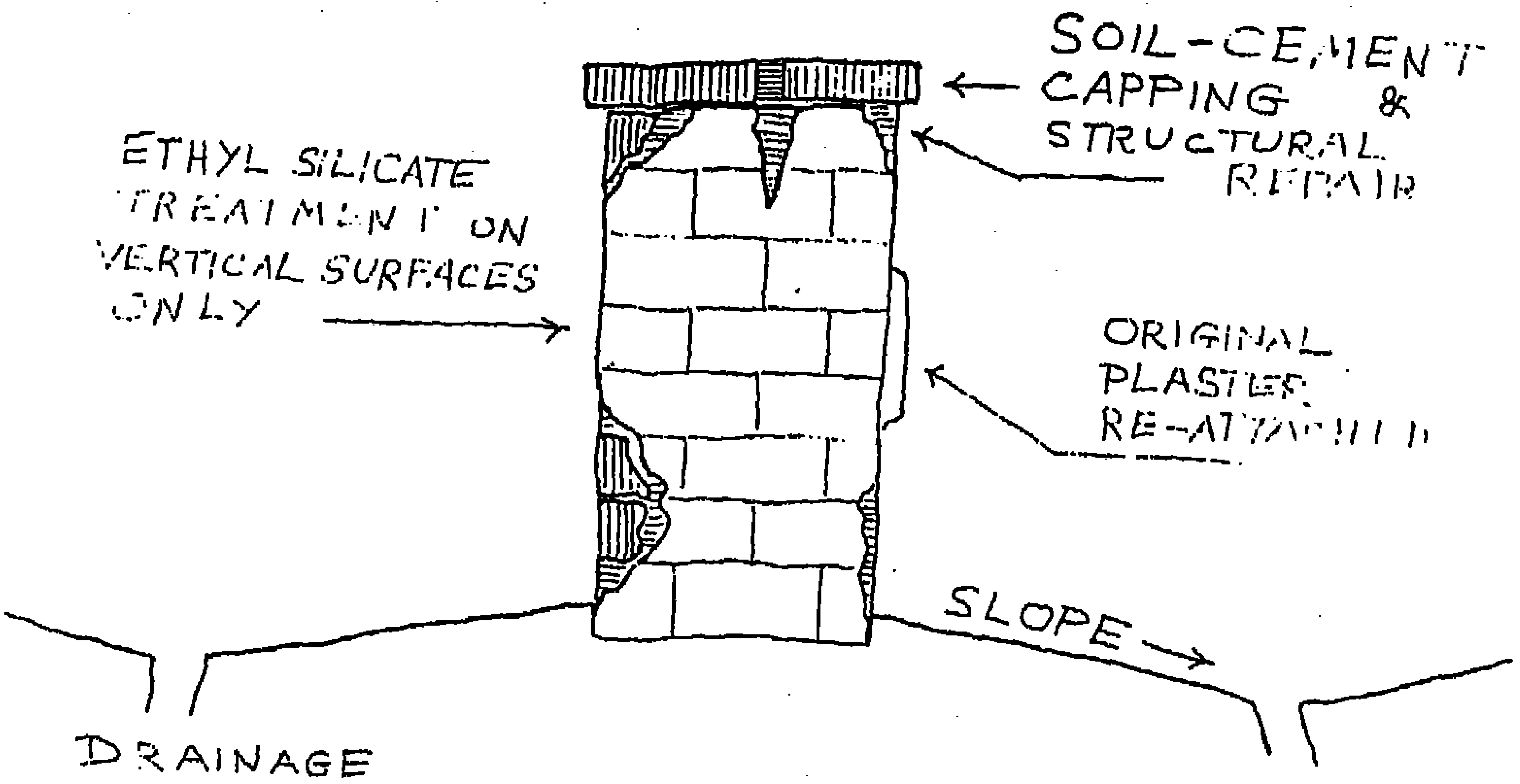
Soil- Cement	Component
Clay - rich soil	8 parts (volume)
Sand	1 part
Portland Cement	1 part
Straw (Chopped short)	
Water	

* تأمين أو حفظ طبقة الشيد مع تقويتها باستخدام اللواصق مثل : مستحلب خلات بولى فينيل .

* عمل نظام جيد لصرف مياه المطر .

* معالجة الأسطح الرأسية فقط بمادة : سيليكات الإيثيل ..

انظر الشكل رقم (٥٨).



شكل رقم (٥٨) يوضح

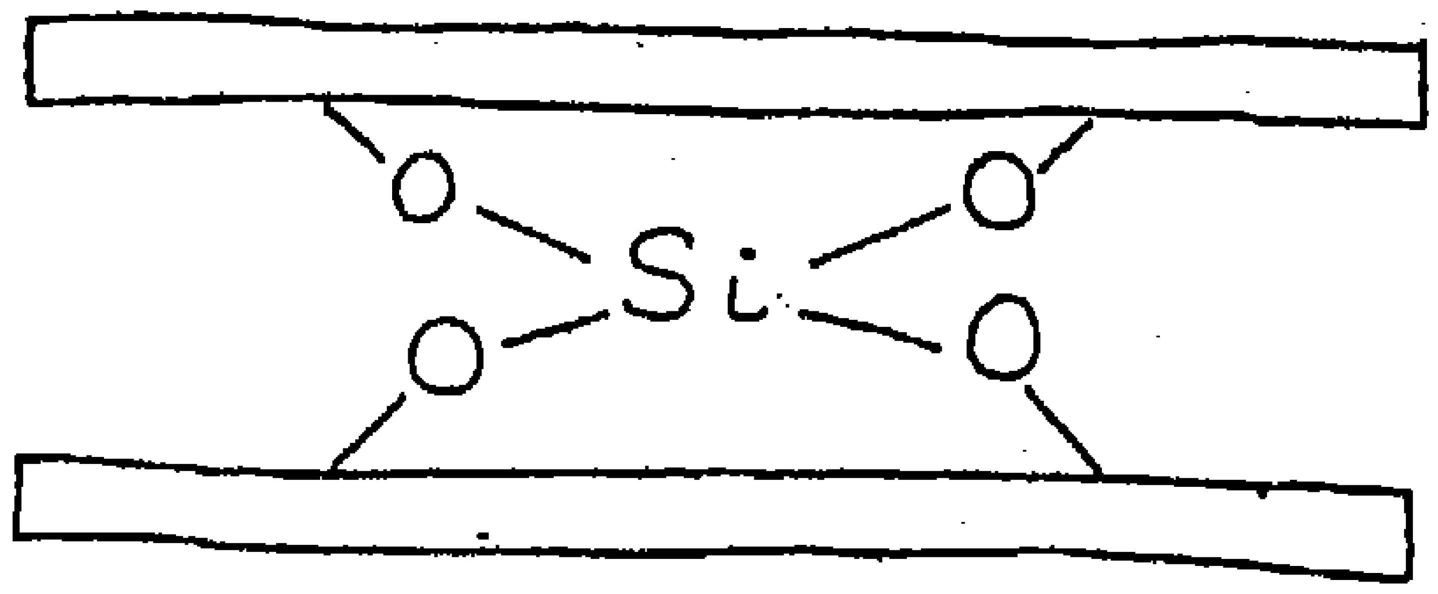
أسلوب المعالجة الجزئية لحائط مبنى بالطوب اللبن

ويجب ملاحظة أن مونـة الأسـمنت والتربـة Soil-Cement بالنسب السابق ذكرها ، يمكن أن تستخدم فى عمل قوالب طـوب .. وفـى هـذه الحالـة يجب أن تشكل فى قوالب مفتوحة من أسفل ، وتحفظ رطبة لمدة أسـبوع حتـى يشك الأسمنت ، وبعد ذلك تترك للجفاف تحت الشمس.

وأيضـا يمكـن اسـتخدام مونـة الأسـمنت والطفلـة، كمعجـون لإصـلاح الشقوق أو الشروخ الصغيرة ، أو تستخــدم لعمـل طبقــة تغطيـة رقيقـة A thin capping layer كما هو واضح فى الشكل رقم (٥٨).

كما يجب ملاحظة أن سيليكات الإيثيل المستخدمة فى حماية الأسـطح الرأسية ، تتحلل بالماء فى وجـود عـامل مسـاعد Catalyst (حمـض مثـلا) وتكون سيليكا مائية $Si(OH)_4$ التـى تعمـل مثـل الكوبـرى بيـن رقـائق الطيـن

وتربطها مع بعضها بأربطة عرضية متقاطعة Cross - Linking ، ويصبح الطين المرتبط بهذه الأربطة مانعات للماء، ولاينتشر فيه Non - dispersible انظر الشكل رقم (٥٩).



شكل رقم (٥٩) يوضح

روابط السيليكات لرقائق الطين

التخلص من ماء المطر Disposal of Rain water:

يجب أن تدرس مسألة التخلص من مياه الأمطار دراسة كافية ، نظرا لخطورتها .. ومن الممكن استخدام أسلوب عمل مزاريب مناسبة لتصريف المياه من فوق الأسطح أو الأسقف ، وكذلك استخدام أسلوب المنحدرات لدفع المياه تجاه قنوات تؤدى إلى نظام صرف جيد.

٨-٥-٢- المبانى فوق مستوى التربة Structures above soil level:

ويقصد بها المبانى السطحية ، غير المدفونة ، وهذه المبانى يمكن أن تعيش لفترات طويلة ، إذا خضعت للحماية المستمرة .. وأهم النقاط الحيوية اللازمة لحماية هذه المبانى هى :

- نظام الأسقف .
- نظام تصريف لمياه المطر .

- تجديد الشيد باستمرار .
- الحفاظ على أساسات الحوائط .
- الاصلاح السريع لمسألة هبوط المبانى ، حيث أن إجهادات القص Shear Stress الناتجة عن هبوط المبانى ينتج عنها شقوق مختلفة طبقا لضعف قوى شد مواد البناء ، مثل هذه الشروخ تكون خطيرة لو سمح للمياه بالتسرب إلى داخلها..
- وقاية بقايا الطوب اللبن عن طرق إعادة إصلاح السقف من فوقها ، مع عمل نظام جيد لتصريف المياه .
- أخيرا فإن اقتراحات الوقاية الجزئية ، عند عمل حفائر أثرية يجب أن توضع فى الاعتبار .

٨-٦- الطوب المحروق - الفخار - الخزف

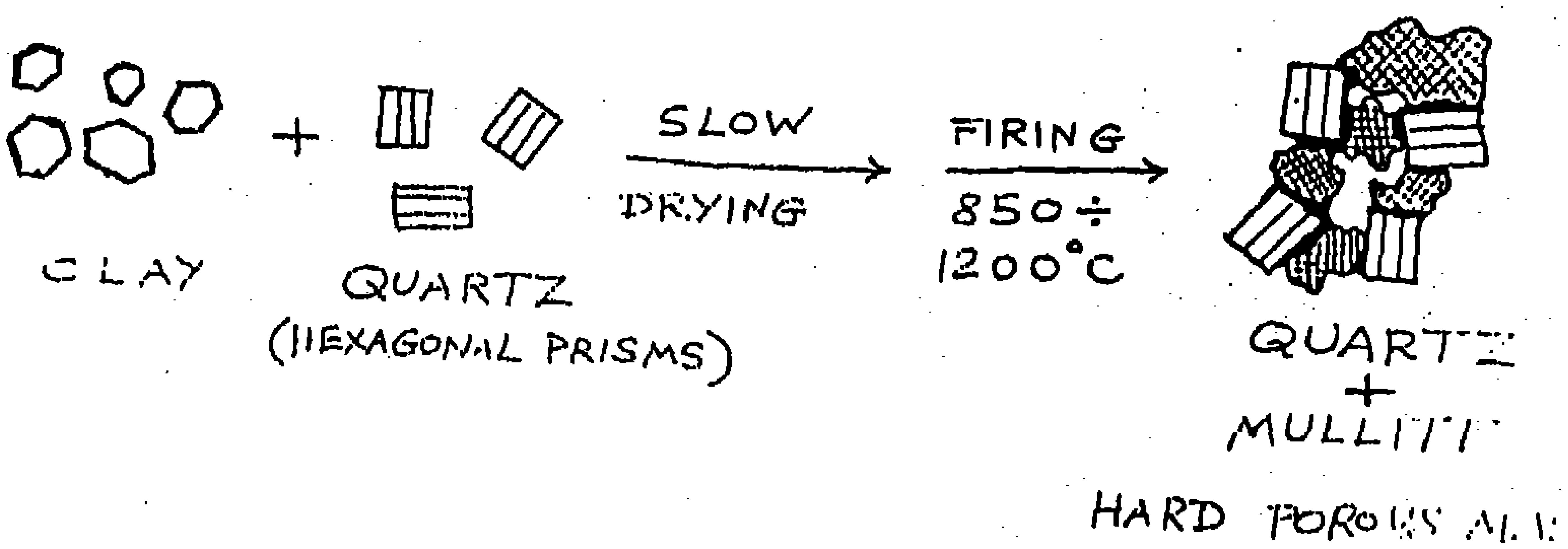
Baked Bricks. Terracotta Porcelain

- **الطوب والفخار Bricks & Terracotta :**

يصنع كل من الطوب المحروق والفخار من خلط الطفلة -بصفة رئيسية معدن مونتموريلونيت ومعدن الليت - مع الرمل ..

" ويتم الخلط بنسب معينة لكل من الطوب والفخار .. ويصنع الطوب فى قوالب خشبية .. أما الفخار فيصنع فى دولاب الفخرانى ، ثم يترك كلا من الطوب والفخار فى الجو العادى حتى يتم الجفاف ، ويجرى حرق الطوب فى قمائن الطوب .. وحرق الفخار فى أفران الفخار حيث يتم تكسير بلورات الطين عند درجة حرارة تتراوح بين ٨٥٠-١٢٠٠ °م وتتحد بلورات

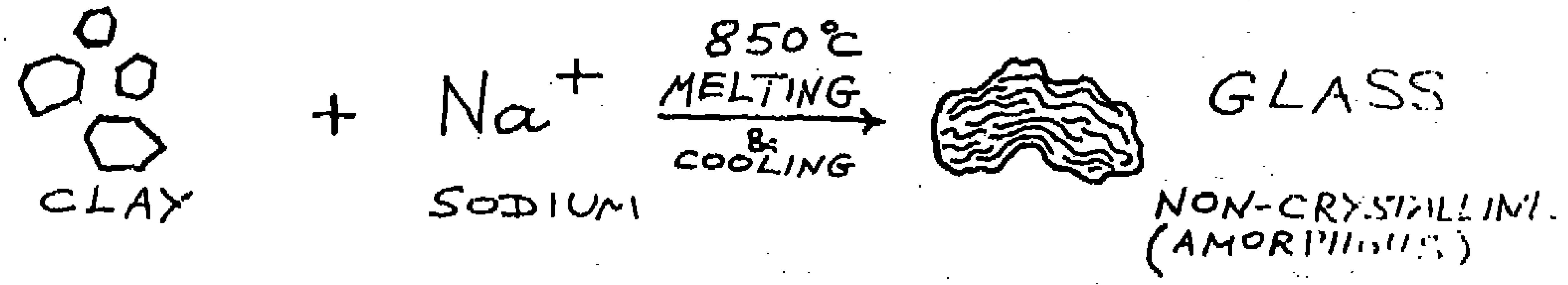
سيليكات الألومنيوم (Mullite) مع الرمل لتكـون كتـل صلبـة مسامية ، غير متبلورة . انظر الشكل رقم (٦٠)



شكل رقم (٦٠) يوضح

ناتج حرق الطفلة الطينية مع الرمل

كما أن وجود البوتاسيوم أو الصوديوم يسببان إنصهار جزئى للطين " والمعادلة التالية توضح التفاعل الذى يحدث بين الطين والصوديوم عند درجة حرارة تصل إلى ٨٥٠ °م ، حيث ينصهر الطين وتتكسر بللوراته وعند تبريده يتحول إلى مادة زجاجية غير بلورية Amor phous.



شكل رقم (٦١) يوضح

معادلة ناتج تفاعل الطفلة مع الصوديوم

كما سبق الذكر فإنه بعد تبريد الطين المنصهر لايكـون تركيـب بلورى، ولكنه يكون كتلة صلبة غير بلورية بدلا من التركيب البلـورى

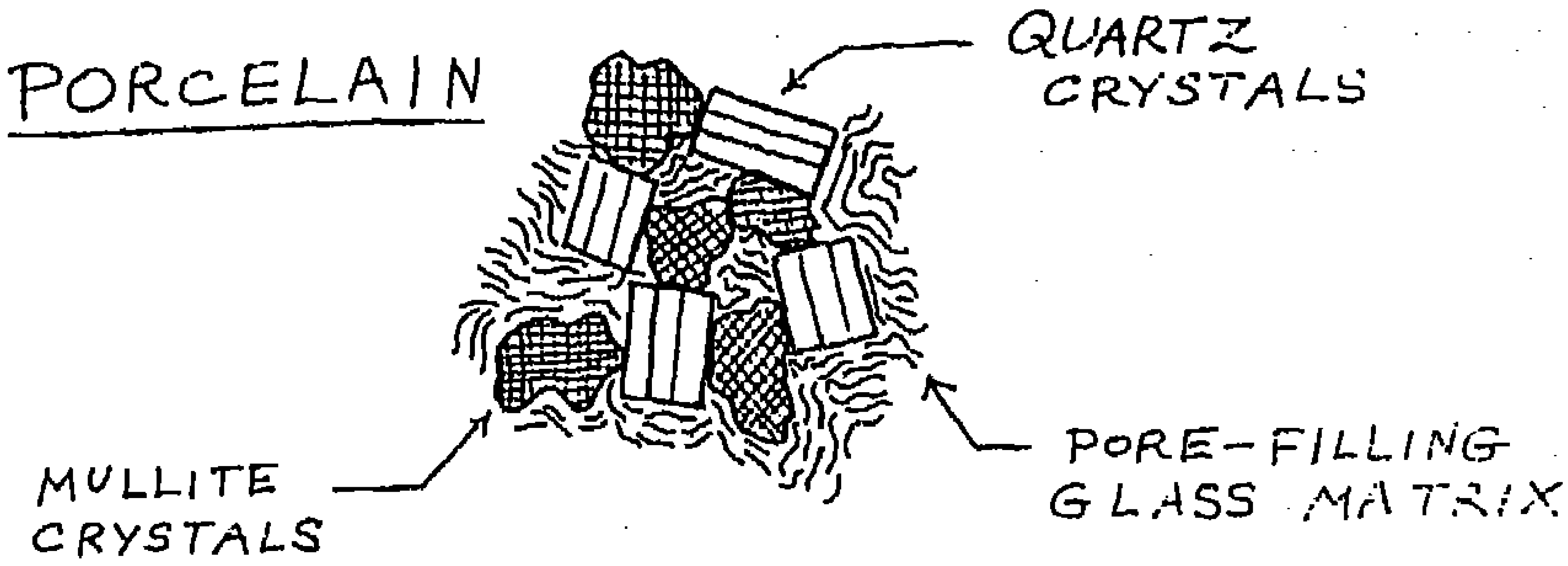
الأساسى، أى يكون مادة زجاجية ، والزجاج يعمل كمادة لاصقة Cement بين بلورات الكوارتز والمليت (Mullite).

وكقاعدة عامة : عندما تتصهر السيليكات ينتج الزجاج وتعتمد كمية التحول إلى مادة زجاجية Vitrification وقوة الطوب الناتج على درجة حرارة الحريق، وأيضا على مكونات الخليط The composition of the Mixture.

أيضا فإن بعض الطينات تحتوى على حديد ، لذلك تصفر - أى يصبح لونها أصفر - المواد المحترقة عندما تكون درجة حرارة الحرق منخفضة Low temperature وتحمر- أى تصبح حمراء. هذه المواد عندما ترتفع درجة الحرارة Higher temperature. بشرط أن يكون الجو محتويا على نسبة عالية من الأكسجين .

- **الخزف Porcelain:**

يصنع الخزف من طينات نقية جدا Very pure clays من نوع الكاولين غير المحتوى على صوديوم أو حديد ، حيث تخلط بالرمل - كوارتز - والفلسبار - سيليكات محتوية على نسبة عالية من البوتاسيوم - وعندما يسخن هذا الخليط حتى يصل إلى درجة حرارة ١٢٠٠ °م يتكون ملليت Mullite، وتزداد كمية المليت بزيادة الانصهار ، وذلك طبقا لنسبة البوتاسيوم فى السيليكا .. وعند التبريد فإن كمية الزجاج تكون كافية لملء الفراغات بين بلورات المليت والكوارتز بصورة كاملة ، لذلك فإن الخزف مادة غير مسامية Not porous . انظر الشكل رقم (٦٢)



شكل رقم (٦٢) يوضح

عجينة البورسلان (الخزف)

وهناك مواد أخرى من نفس فصيلة الخزف تسمى سيراميك Ceramics وهى عبارة عن مواد متبلورة جزنيا وغير متبلورة فى الجزء الاخر They are partly crystalline & partly vitreous وتعتمد قوة هذه المواد ، ومساميتها على نوع الطفلة ، والمواد المضافة اليها ، أو الموجودة فعلا فى الطين كالصوديوم أو البوتاسيوم ، وأيضا على درجة الحريق .

******

الفصـــل التاسـع

تحلل المبانى وصيانتها

Concervation & Deterioration of Masonry

٩-١-الرطوبة فى المبانى Moisture in Masonry :

تصل المياه إلى المباني ، إما في صورة سائلة : عن طريق المص Suction من المواد الرطبة .. أو تخلل Penetration مياه المطر ... أو فى صورة غازيه : عن طريق تكثيف البخار من الجو .. ، أو التكثيف الخلالى (البينى) Interstitial أى تكثف البخار الموجود داخل المسام والإمتزاز ...

ومن جهة أخرى فإن المياه ممكن أن تترك المسام فى المبانى بصفة خاصة ، فى صور بخار ؛ عن طريق عملية البخر ...

لذلك فإن المحتوى المائى للحائط يمكن معرفته وتحديده عن طريق اتصاله بمصادر المياه Water Sources وأيضا عن طريق ميزان بخار الماء، أو معدل بخار الماء Water Vapour Balance حيث أن عملية البخر تتم عكس عمليتى التكاثف والامتزاز..

ونتيجة لتلك الحقيقة ، فإن معظم الحوائط الواقعة تحت الدائرة الموسمية .. تتمتع فى الطقس الحار بمحتوى مائى عالى فى آخر الربيع – بعد فترات التكاثف فى الشتاء والربيع – كما تتمتع بمحتوى مائى أقل فى آخر الخريف – بعد أن تسود حالة البخر فى الصيف والخريف ..مثل هذه الدورات تكتمل وينشأ عنها مضاعفات ، عندما تكتمل فعالية الرطوبة الناتجة عن العمليات السابق ذكرها ..

أضف إلى ذلك تغير المحتوى المائى الموسمى من عام إلى آخر طبقا للتغيرات الجوية ...

من هنا يجب قياس المحتوى المائى الداخلى فى المبانى - إذا أمكن - أكثر من مرة فى العام الواحد .. ويجب أن يتكرر القياس كل عام فى نفس التاريخ ..

أيضا فإن إزالة طبقة البياض ، أو طبقات الطلاء المانعة للماء يحسن معدلات البخر Evaporation مما يؤدى إلى إنقاص المحتوى المائى داخل الجدران ..

كما يجب أن يتم تكرار أعمال الاصلاح والصيانة Rehabilitation فى المبانى القديمة ، فى مواسم جيدة الطقس .. على سبيل المثال : عندما يتم إزالة طبقة البياض، واتخاذ الاحتياطات اللازمة ضد الرطوبة ، فى الخريف .. فإن تحليل نتائج قياسات المحتوى المائى ، توضح تحسن واضح فى العينات التى تم الحصول عليها من قبل بدء العمل ، فى فصل الربيع .

لذلك يتم عمل بياض جديد ، والكل يسعد بهذا العمل . ولكن يجب أن يكون واضحا أن ماسبق ذكره فى مثل هذه الحالات ، يجب أن تتخذ الإجراءات الاحتياطية الفعاله ضد الرطوبة بقدر الامكان .. وهذه ربما تأخذ سنوات عديدة لتحديد أى الإثنين سيتغلب على الآخر - تأثيردورات الرطوبة على الجدران ، أو الاحتياطات ضد الرطوبة .

لذلك فإننا نؤكد على التشخيص الصحيح للمشاكل التى تؤثر على المبانى .. قبل اتخاذ الاحتياطات اللازمة لتجفيف هذه المبانى ، خاصة إذا كانت مبانى تاريخية .

والتشخيص يشمل : قياس درجات الحرارة والرطوبة فى الهواء، وداخل المبانى فى عدة نقاط ، وفى عدة مواسم .. حتى نتمكن من الحصول على نتائج سليمة عن حالة المبنى .

من هنا نرى أن مرحلة التشخيص مرحلة طويلة ، ومكلفة ، ولسوء الحظ أن الكثيرين يعتمدون على التخمين ، إلا أننا يجب أن نقرر أنه من الأفضل الإعتماد على الخبراء ، وكذلك على الأشكال التوضيحية أكثر من الاعتماد على التخمين .

على أية حال فإن Massari قال : فى مشاكل الرطوبة .. حقيقة أننا غالبا مانعدو فى اتجاه مضاد لنشكوا الإحساس بالسعادة .

فالتخمين كثيرا مايكون خطأ ، كما أن تكلفة الفشل غالبا ماتكون مرتفعة ..

٩-٢- الأملاح الذائبة فى المبانى Soluble Salts in Masonry :

الأملاح الذائبة يمكن أن توجد أساسا فى مواد البناء التى استخدمت فى الإنشاء (طوب ورمل ومونة) أو ربما تزداد هذه الأملاح فى مواد البناء، عندما ترتفع المياه داخل الحوائط من التربة خلال الأساسات ، أو عندما تتفاعل الغازات الحمضية A cid gases مع أسطح الجدران .

وقد بينت نظرية التحلل أن التلف يمكن أن يحدث على الأقل بإحدى طريقتين :

أ - الأملاح الذائبة ، تجذب الماء السائل Liquid water بالخاصة الأسموزية .. أو بخار الماء Water vapour بالخاصة الهيجروسكوبية .. كل هذا يؤدى فى النهاية إلى زيادة المحتوى الحرج للماء The critical water content وتعوق بصفة عامة جفاف المبانى .

ب - الأملاح الذائبة ، قد تتبلور عند تبخر المياه ، وتحدث تزهر للأملاح Efflorescences وتحلل للأسطح Disgregation of surfaces .

فى المدن التى تعانى من مشاكل الأملاح ، مثل : فينيسيا .. هناك نزعة نحو إزالة كل المداميك التى تأثرت بالأملاح الذائبة ، واستبدالها بمداميك طوب نقى Fresh Brick Courses ثم حمايتها ضد غزو أملاح جديدة بواسطة وضع مدماك ضد الرطوبة تحتها .

مثل هذه الطريقة مكلفة جدا .. ونحتاج إلى تطوير نظم رخيصة للتخلص من الأملاح .

هذا وقد تمت تجارب ناجحة فى برج لندن منذ عدة سنوات ، باستخدام كمادات الطين للتخلص من الملح ..

كما أن كمادات الورق أو الطين استخدمت أيضا فى صيانة الآثار ، لإزالة الأملاح من المواد التى تم اكتشافها فى تربة ملحية شديدة .. حيث كان يتم تغطية المادة بكمادة خالية من الأملاح ومبللة ، وتترك حتى تجف .. وفى هذه الحالة تتركز بلورات الملح فى الأسطح المعرضة للبخر من الكمادة .. لذلك عندما تجف الكماده يجب ازالتها بعيدا بما تحتويه من أملاح..

فى المواد السميكة يتم تكرار العلاج حتى يتم التخلص من الأملاح لذلك يمكن استخدام هذه الطريقة فى استخلاص الأملاح من الحوائط.

كما يوجد طريقة أخرى للتخلص من الأملاح باستخدام الغسيل الكثيف بالماء العذب، وهناك تجارب لم تكتمل فى هذا المجال .. ويتردد أن هذه الطريقة، تؤدى إلى إضافة مياه إلى مواد البناء والأخيرة تخلق مشاكل أخرى صعبة الحل، وأيضا مكلفة .

أيضا تم تجريب طرق التحليل الكهربى Electro lysis والتحليل الديليزى Electro - dialysis – فصل المواد عن طريق غشاء لازالة

الملح من المواد الأثرية ،وذلك عندما ثبت نجاح هذه الطرق فى أغراض أخرى . إلا أن هذه الطرق قابلت صعوبات عديدة أثناء التطبيق العملى خاصة فى حالة مواد البناء.

٩-٣- البياض (طبقة الطلاء) كطبقة حماية قربانيه :

Plaster (Rendering) as A Sacrificial Protective Layer

من المعروف أن الطبقات السطحية فى المبانى تتعرض لمعظم عمليات التلف - مثل : الصدمات الحرارية Thermal Shock وتبلور الأملاح Salt Crystallization والصقيع Frost ومهاجمة الغازات الحمضية Acid gases .

ولو تم استخدام طبقة بياض مسامية قطبية Porous, Hydrophilic Layer فوق سطح المواد فإن معظم التأثيرات البيئية المتلفة، تتركز فى هذه الطبقة، فى حين يظل داخل البناء محميا .. أى أن طبقة البياض تحمى مواد البناء أسفلهامن عوامل البيئة .. لذلك سميت مثل هذه الطبقات طبقات حماية قربانية Sacrificial حيث يمكن أن تجدد كل فترة عندما تفقد وظيفتها .. لأنها فى الغالب تتحلل ..

فى الماضى كان البناء يستخدم طبقة البياض لتكسية الجدران ، هكذا، بالممارسة والخبرة ، ونادرا ماكانت الحوائط تترك معرضة للجو خاصة إذا كانت مشيدة بالحجر .

أيضا كان يستخدم الفسيفساء أو طوب الواجهات لأغراض الزخرفة ، أو للكسوة السطحية Surface lining .

لذلك يجب حماية طبقة البياض فى المبانى التاريخية، باستخدام تقنيات مناسبة ، وبقليل من التجديد كلما أمكن ، وذلك لأنها قد تنقل معلومات هامة ..

فى العصر الحديث – لحسن الحظ – ظهرت طرق جديدة لنزع طبات البياض القديم مع ترك مواد بناء المبانى التاريخية معرضة للمشاهد..

ذلك التطبيق يبدو أنه غير مرغوب فيه من وجهة نظر علماء الصيانة، إلى جانب إحتمال فقد أوضياع معلومات هامة تكون محفوظة فى طبقات البياض الأصلية ..

أما فى حالة نزع طبقات البياض القديم واستبدالها بأخرى جديدة، فإنه يجب أن نتذكر أن : طبقة البياض الجديدة تكون طبقة حماية قربانية ، أى مؤقتة ، خاصة لو كانت مسامية النظام Pore system أى تسمح بمرور الماء خلالها فى صورة سائل أو بخار .

على العكس من ذلك فإن استخدام بياض غير منفذ للماء فوق مواد البناء القديم يخلق وضع جديد، يجعل من الأفضل إجراء عدة تحليلات قبل تطبيق هذا البياض .

وفى الواقع فإن أى طبقة سطحية غير منفذة للماء ، تكون معرضة للتشقق فى الحال أو فى المستقبل ، بسبب الحركة الحرارية للمواد Thermal movement كذلك فإنها تعوق الإتصال بحد الماء Water barrier أيضا قد تؤدى إلى تطوير الضغوط الداخلية بسبب الصقيع Frost أو تبلور الأملاح Salt Crystallization .

عامل آخر يجب أن نتذكره .. أن الحوائط إذا إرتفع فيها المياه الأرضية أو الرطوبة Rising damp بعد معالجتها بطبقة بياض غير منفذة للماء، فإن الرطوبة قد تصل إلى أقصى معدلاتها داخل هذه الحوائط بسبب منع المياه من التبخر .

والخلاصة : أن طبقة البياض يمكن أن يمر من خلالها الماء الذى سينتشر فى مواد البناء ، لكن فى الغالب تتراكم المياه خلف الطبقة غير المنفذة للماء، أو التى لايمكن تبخر الماء من خلالها ..

وفيما يلى شكل يوضح خواص طبقة البياض المسامية ، وغير المسامية .. شكل رقم (٦٣).

٩-٤- الجفاف فى المبانى Drying of Masonry:

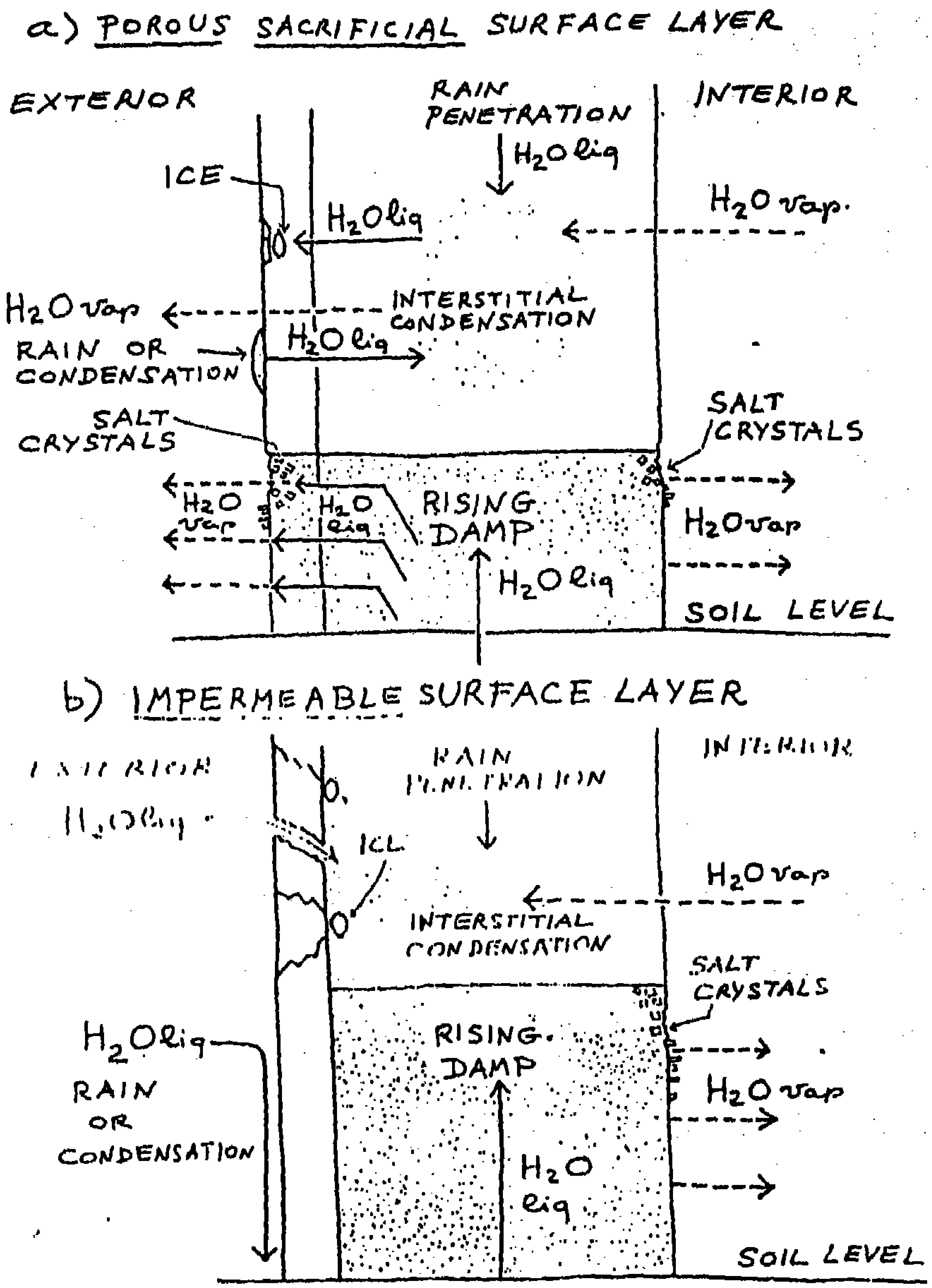
تبين النظريات أنه من الصعب إزالة الرطوبة من مواد البناء المسامية .. أيضا تزداد الصعوبة لو وجدت أملاح قابلة للذوبان فى الماء داخل مسام المواد ..

ويقترح نظريا لإنقاص الرطوبة أو التخلص منها عندما تكون الحوائط مبللة بدرجة كبيرة .. زيادة عملية التبخير، أو منع مصادر المياه عن الحائط.. أو القيام بذات العمليتين فى وقت واحد - أى التخلص من الرطوبة بعملية تبخير ، مع منع مصادر المياه التى تؤدى إلى ترطيب الحوائط..

ويوجد العديد من الطرق التى يمكن تنفيذها أو محاولة تنفيذها .

التبخير Evaporation :

ويمكن أن يتم بنظم التسخين أو التهوية Heating or Ventilation Systems .



شكل رقم (٦٣) يوضح

خواص طبقة البياض المسامية (a) وغير المسامية (b)

التحكم فى المياه الزائدة Control of Water Access:

ويعتمد ذلك علىالتشخيص الصحيح لمصدر الرطوبة – وحالـة المياه بعد ذلك يمكن إتخاذ التدابير التالية :

١- استخدام طبقات مانعة للرطوبة	Damp Proof Courses
٢- عمل نظم للصرف الصحى	Drainage systems
٣- مراجعة مزاريب تصريف المياه	Rain Water Disposal
٤- تجنب عملية التكاثف	Avoidance of Condensation
٥- إزالة الأملاح وماشابه	Removal of Salts & others

فى العصـر الحديث – يوجد عدة طرق يمكن اقتراحها لتجفيف المـواد الأثرية تجفيفا تاما .. بأقل تكلفة .. إلا أنه يجب قبل تنفيذ أيا من هـذه الطـرق يجب إختبارها فىالحقل ، مع مراجعة نتائجها وتسجيلها بواسطة مراقبين غير منحـازين .. حيـث أن البعـض يحـاول أن يشـكك فـى جـدوى هـذه الطـرق .. والبعض الآخر يحتفظ بالأمل فى نجاح النصائح العلمية ..

وفيما يلى نذكر أهم هذه الطرق ..

– السيفونات الهوائية Atmospheric syphons:

السـيفونات الهوائيـــــــة ، وتسـمى أيضـــــا ســيفونات كنـــابن Knapen syphons عبارة عن أنابيب من السيراميك تولج فى الجدران بميل .. لأسفل أو لأعلى .. من النهاية حتى الفوهة .. انظر الشكل رقم (٦٤).

والأسـاس النظـرى لهذه السيفونات هـو : توقـع تولـد دوره هوائيـة داخلها، ينتج عنها زيادة بخر المياه من الحوائط ..

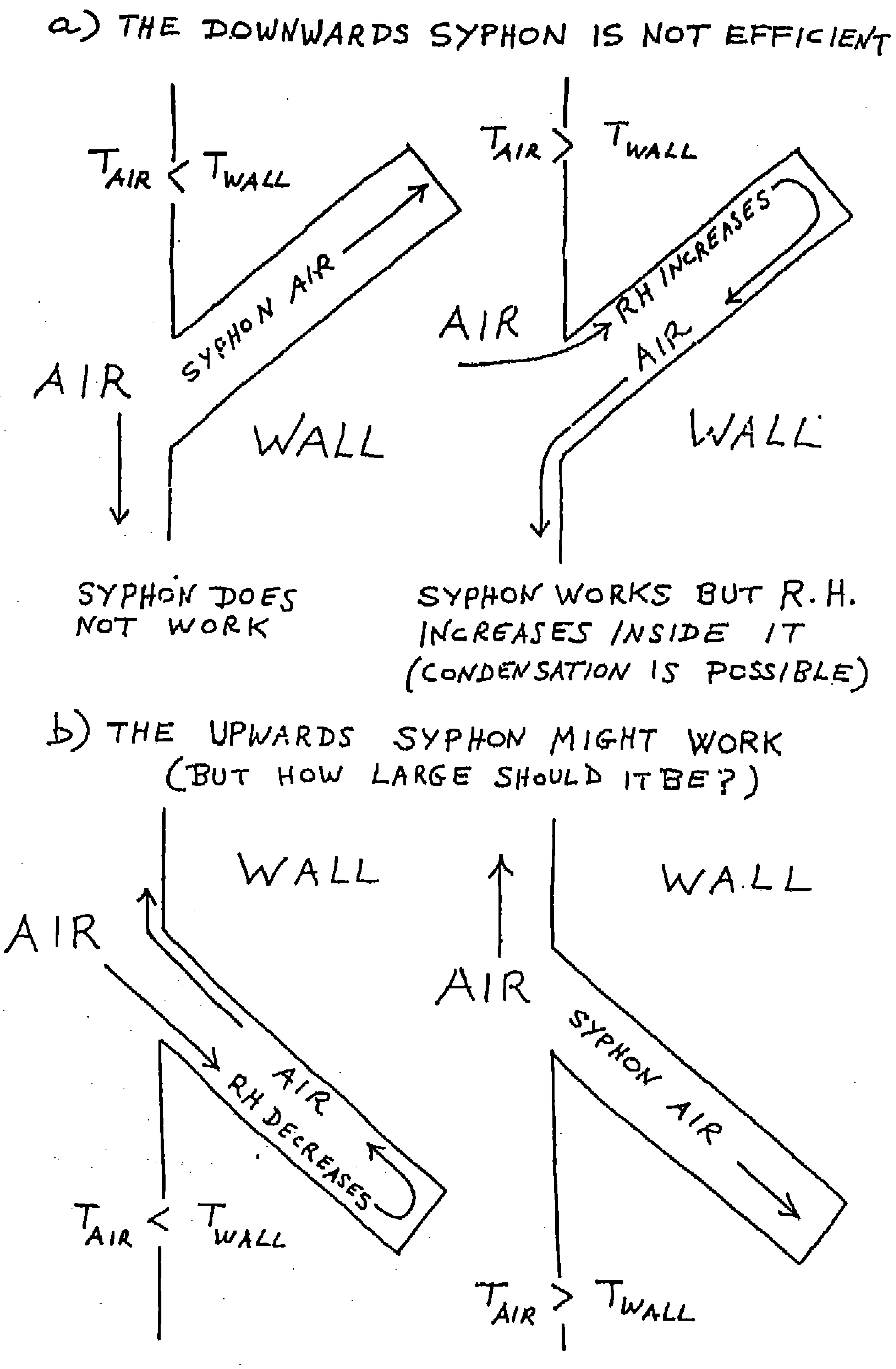
ومع ذلك فإن تقارير الملاحظين غير المنحازين فى فرنسا وبريطانيا بينت أن تأثير السيفونات على المحتوى المائى للحوائط غالبا غير ذى فائدة .. ويصبح السيفون غير فعال لو تـم قلبـه ، حيث يتم قلب السيفون فىالتطبيق العملى لتجنب امتلائه بماء المطر . أنظر الشكل رقم (٦٤)، (a).

والحقيقة أنه عندما يكون الحائط أدفأ من الهواء الجوى ، فـإن الهـواء البارد لايستطيع دخـول السيفون مـن أسـفل ، لذلـك فإنـه لايعمـل .. والعكـس عندمـا يكـون الهـواء الجـوى أسـخن مـن الحـائط ، فـإن حركـة الهـواء داخـل السيفون تكون فعالة ، لأن الهواء البارد يتدفق خارجـا مـن الحـائط .. ويـزداد تدفق الهواء من الحائط عندما تزداد سخونة الهواء الجوى فى الأنبوبة ..

ولسوء الحظ فإنه فى مثل هذه الحالة تزداد الرطوبة النسبية في الهواء بسرعة كبيرة عندما يدخل السيفون ، وتقلل من درجـة حـرارة الحـائط - وقـد يحدث عمليات تكثف داخل الجدران ..

هذا بالنسبة للسيفون المتجه لأسفل ، أما السيفون المتجـه لأعلـى فمـن الممكن أن يعمل بصورة أجود من السيفون المتجه لأسـفل ، لأن دورة الهـواء ستحدث عندمـا يكـون الحـائط دافئـا، ويلاحـظ ذلـك فـى حجـرات المقـابر فـى Tarquinia وفى مقابر طيبة Thebes.

وعلـى كـل فإنـه مطلـوب شـيء مـن التفكير المتـأنى لحسـاب سـطح التبخير ، الـذى سـوف يـؤدى إلـى أكـبر نتيجـة ممكنـة .. إلا أن هـذا إفـتراض شخصـى للمؤلـف ، إذ من الممكن أن يكون مثـل هـذا السـطح أوسـع مـن ذلـك الذى يمكن أن يقدم بواسطة السيفون الموجود..



شكل رقم (٦٤) يوضح

السيفونات الهوائية

أ- سيفون متجه لأسفل .

ب - سيفون متجه لأعلى .

٩-٤-٢- الأسموزيه الكهربية الخاملة (السالبة)

Passive Electro - Osmosis

الأسموزية الكهربية والخاملة مبدأ أساسى لانستطيع شرح نظريته فى هذا المكان .. إلا أنه من المفترض أن الماء يصعد فى مواد البناء عن طريق إختلاف الجهد الكهربى الموجود بين الأرض والمبانى .. فلو تم توصيل الأرض بالحوائط فإننا سنمنع إرتفاع الماء فى الحوائط، وربما يعود الماء إلى التربة أو قد يتبخر نظرا لإلغاء فرق الجهد الموجود بين الأرض والبناء ...

إلى جانب هذه الحقيقة .. فإن هناك شك فى وجود إختلاف فى الجهد على الإطلاق .. وذلك طبقا لأحدث النظريات التى ترجح إمتصاص الماء إلى وجود الروابط الهيدروجينية بين جزيئات الماء - حيث يحدث رباط هيدروجيناى لجزيئات الماء مع الأسطح القطبية .. وهذا لايحتاج إلى أى مضاعفة للجهد الكهربى .. حيث أن توصيل الحوائد بالأرض Earthing of a wall لن يؤثر على إرتفاع المياه بالخاصة الشعرية على نطاق واسع..

٩-٤-٣- الأسموزية الكهربية النشطة (الموجبة):

Active Electro- Osmosis

الأسموزية الكهربية الموجبة حقيقة معروفة جيدا ، إذ أن الماء يستطيع أن يندفع تجاه القطب السالب بواسطة مجال كهربى فى الأجسام المسامية القطبية .

من ناحية أخرى فإن إزالة المياه يتطلب طاقة أعلى من طاقة إزاحتها أو استبدالها بجزيئات مياه جديدة .

والطاقة المطلوبة للجفاف من الممكن أن يكون مقدارها أكبر من ١ ك وات ساعة لكل كجم ماء – إذ أننا فيالواقع لايمكننا ملاحظة كيف أن نظم التيار المنخفض يمكنها تجفيف كتلة كبيرة من الماء فى وقت معقول .

وقد ثبت أن قطاع من الحائط سمكه ٦سم وطوله ٤م يحتاج إلى ٧٠٠ ك وات ساعة ليصل محتواه المائى إلى ٣٪.

على الجانب الآخر فإن نظم الجهدالكهربى العالى ، صعب تشغيلها ، وصعب صيانتها ...

إقتراح آخر صعب التنفيذ ، يعتمد نظريا على حقيقة أن الجفاف يجعل المحتوى المائى أقل من المحتوى الحرج للمياه (المسوى الثالث) فى المواد المسامية .. والجفاف بواسطة التيار الكهربى لايمكنه مبدئيا أن يتقدم لأكثر من المستوى الثالث ..

كما يوجد معوقات كافية من المياه التى تملأ المسام تستطيع أن توقف مرور التيار الكهربى بين الأقطاب Poles.

أيضا فإن وجود الأملاح الذائبة يعوق العلاج الكهربى ، وبصفة خاصة فى الطرق الموجبة لأن الأيونات ستزيد من توصيلية المياه.

أيضا تأثير الإلكترونات فيالماء يصبح إيجابيا لكنه سيكون له أهمية فقط لو مد بكمية كبيرة من الطاقة .

علىالجانب الآخر فإن ظاهرة الاستقطاب قد تحدث على الأقطاب الكهربية، فتمنع حركة المياه بعد فترة من الوقت، ومن المثير للدهشة أن إنتقال الكهرباء فى المواد يتوقف مؤقتا ،لأن الكهرباء تحل محل جزيئات الماء، وتشكل غطاء داخلى مانع Internal hydrophobic coating.

فـى هذا الميدان يجب أن نستغـــل مواهبنـا لخلـق حواجـز مائيــة Water Barriers داخل الأجسام المسامية .. على سبيل المثال ، عن طريـق العزل المؤقت للجزيئات الحاملة للشحنات الموجبـة ، التـى تستطيع أن تدخـل المسام الصغيرة ..

رأى آخر يمكن بحثه ، هو ترسيب المواد فى صورة هلاميـة كنتيجـة لهجرة التيار الكهربى داخل السيليكات أو الألومينات الذائبة .

مثل هذه النتيجة التى نتمناها ستؤدى إلى سد الثقوب وتكوين نوع مـن الطبقات العازلة للرطوبة Damp proof course.

٩-٥- تطبيقات غير ملائمة فى صيانة المبانى :

Improper masonry conservation practices

فى ضوء النظرية العامة للتلف التى أو جزناها من قبل فإن العديد من التقنيـات المطبقـة فـى الوقـت الحـاضر لصيانـة المبـانى القديمـة ، تبـدو غــير مرغوب فيها ، أو غير ملائمة ..

١- الحالة الأولى : التنظيف بالاحماض أو القلويات المركزة :

تنظيف الطوب أو الحجر فى المبـانى القديمـة باستخدم الأحمـاض أو القلويات المركزة عمليات خطيرة جدا ...

فالأحماض، قد تتلف بكل وضوح مون الجير أو الحجر الجـيرى، لأنـها تهاجم بسرعة كربونات الكالسيوم المكون الأساسى لكـل مـن الحجـر الجيرى ومـون الجـير .. إذ أن أقل تفـاعل كيميـائى يسـبب خطـر كـامن ، لأن النواتـج الثانوية لكل التفاعلات تكون عبارة عن أملاح ذائبـة .. وهـذه الأمـلاح إن لـم يتم التخلص منها فورا ، فإنها تتبلور بعد ذلك فى مسام المواد..

أما القلويات ؛ مثل الصودا الكاويه ، تعطى كربونات كنواتج تفاعلات .. مثل : كربونات الصوديوم ، التى من الممكن أن تتبلور فى شكل بلورات متميئة Hydrated Crystals ينتج عنها إجهادات داخلة متلفة .

٢- الحالة الثانية : التنظيف الميكانيكى :

أيضا التنظيف الميكانيكى من المحتمل أن يسبب عمليات تحلل من خلال تسببه فى تكوين شروخ سطحية Surface cracks.

وقد أثبتت النظريات أن حالة الأسطح - خاصة إذا كانت جيدة- تصبح عامل أساسى يقرر مقاومة مواد البناء لهجوم العوامل البيئية ..

لذلك فإننا يجب أن نتجنب ، بقدر الإمكان ،أثناء عمليات التنظيف ، إحداث عيوب جديدة فى الأسطح المعالجة .. إذ أن كثرة العيوب غالبا ماتبقى بعد استخدام المقويات أو الطلاءات الواقية Protective coating التى سوف نستخدمها دائما .

٣- الحالة الثالثة : ماء خلط الأسمنت :

الماء الذى يستخدم فى خلط الأسمنت المستخدم فى المون أو فى الخرسانة ، يكون على إتصال مباشر بتفاعلات شك الأسمنت وغيره من المواد التى تكون غنية بالجير المائى Hydrated lime والصودا الكاويه Caustic soda وكذلك محاليل الأملاح الذائبة مثل :

- سيليكات الصوديوم Sodium silicate
- كربونات الصوديوم Sodium carbonate
- كبريتات الصوديوم Sodium Sulphate

هذا المحلول المائى الذى يحتوى على كل هذه الأملاح يسبب تلفيات خطيرة لو سمح له بالتسرب داخل مسام مواد المبانى القديمة القريبة من موقع الخلط .

كما أن استخدام مون الأسمنت فى إصلاح وترميم المبانى القديمة تؤدى إلى ظهور إجهادات بسبب تبلور وتزهر الأملاح Efflorescence & Crystallization Stress .

٤- الحالة الرابعة : استخدام المون القوية :

كما أن استخدام المون القوية مثل : أسمنت الخرسانة Cement Concrete أو المون الصناعية المخلقة Synthetic mortar مثل : مون راتنج الإيبوكس فى ترميم أو إعادة بناء المبانى القديمة تحدث ضررا بالغا لأسباب ميكانيكية .

أيضا ثبت أن هذه المواد تظهر قدرة فائقة على لصق مواد البناء فى المبانى القديمة ، لكن الملاحظ أن معاملات تمددها الحرارى ضعف معاملات التمدد الحرارى لمعظم مواد البناء القديم... وقد تصل إلى أكثر من الضعف فى حالة الراتنجات الصناعية.

لذلك فإن الحركات الحرارية تؤدى إلى إختلافات وإجهادات بسبب ضعف المواد القديمة عن الجديدة .. كما أن قوة المواد الجديدة تتسبب فى فقد أجزاء كثيرة من جوانب أو أحرف المواد القديمة الملتصقة بها .

أيضا تظهر الشروخ الدقيقة المرئية وغير المرئية على جوانب قطاعات المواد القديمة التى تلتصق بالمواد الجديدة .. وهذا مايساعد على زيادة عمليات التلف فى المستقبل .

وبصفة عامة يجب أن يكون هناك قاعدة أساسية .. هى : يجب أن تتساوى قوة المواد المستخدمة فى الترميم مع قوة المواد الأصلية ، أو أن تكون أضعف منها ..

لأن النظريات أثبتت ، أنه إذا كانت المواد الجديدة أقوى من المواد القديمة فإنها تعجل من تلف الأجزاء القديمة التى تتصل بالأجزاء الجديدة.. وهذا مايتعارض مع تقنيات صيانة المواد الأثرية ..

٩-٦- العلاج غير القطبى للجوامد القطبية :

Hydrophobic treatment of Hydrophilic solids

لو كل المسام فى الجوامد القطبية - المحبة للماء - تم تغطيتها عن طريق التشبيع العميق Deep impregnation باستخدام مواد غير قطبية - مانعة للماء - فإن هذه المواد تصبح عمليا مانعة للماء أيضا ، حتى لو المسام بقيت مفتوحة ..

ومن الممكن إنجاز عملية التشبيع بالمواد المناسبة ، بواسطة تقنيات منسبة ، بكفاءة عالية ، إذا كانت المسام جافة .. أما إذا كانت المسام مملوءة بالماء .. هنا تظهر مشكلة يصعب حلها فى بعض الحالات .

هذا ويلاحظ أن المعلقات أو المستحلبات المائية للمواد غير القطبية ، تكون محدودة التخلل أو التشرب داخل المسام الصغيرة للمواد ، وذلك لكبر حجم الدقائق العالقة ... ومن أمثلة ذلك :

السيليكونات الذائبة فى الماء - الصوديوم المشتق من السيليكون - تستخدم لخلق حواجز مانعة للماء ، إذا تم حقنها داخل مواد البناء وفى هذه الحالة فإن مصدر المشاكل المحتملة هو انتشار المحلول فى الماء الذى يملأ

المسام .. من ناحية أخرى فإن انتشار المحلول داخل مواد البناء يكون صعبا بسبب كثرة المسام الصغيرة .

الهيدروكربونات المكلوره .. وهى مذيبات قطبية ، تنجذب نحو الأسطح القطبية ، لكنها غير قابلة للإمتزاج مع الماء ، لأنها لاتستطيع تكوين روابط هيدروجينية معه .. تستطيع أن تزيح الماء من الأسطح المسامية ، وتدفع جزيئات الماء بقوة نحو تكوين مناطق ذات شد سطحى عال ..

مثل هذه التقنيات تنجح عند تطبيق الطلاءات العضوية Organic coatings فوق الأسطح المبللة ، لكن لايوجد دليل على أن هذه التقنيات تنجح فى التشبيع العميق ، أى فى التخلل داخل مواد البناء ..

علاج الأسطح غير القطبية : بصفة عام يكون من السهل علاج الأسطح غير القطبية ولكى يكون العلاج ناجحا ، على الأقل ، يجب أن نوضح نقطتين هامتين فى هذا الموضوع .

الأولى: قدم الطبقة السطحية فى المواد غير القطبية .

الثانية : احتمال تجمع المياه وتراكم الأملاح خلف الطبقة السطحية لهذه المواد محدثة تلف بالضغوط الداخلية .

قدم الطبقة السطحية Ageing of surface films:

معظم جزيئات المواد العضوية تحتوى على الهيدروجين والكربون وهذا هو سبب أكسدة هذه المواد عندما تتعرض للهواء.. هذه العملية تحدث طبيعيا عن طريق الطاقة التى تحصل عليها هذه المواد من الضوء العادى أو الأشعة فوق البنفسجية ، وبالتالى تصبح هذه الأسطح نشطة جدا للتفاعل ، وإضافة الأكسجين الذى يخلق مجموعات قطبية محبة للماء

$C^+ - O^-$, $O^- - H^+$ مثل Polar hydrophilic groups..

والنتيجة النهائية لعملية الأكسدة هذه هى تكسر أو تشابك جزيئات هذه المواد، مما يقلل قوتها الميكانيكية وتفقد تأثير المـواد المانعـة للمـاء .. كمـا أن الأكسدة كثيرا ماتغير لون هذه المواد ، وأخيرا فإن حالة الأكسدة تجعل المـواد فى صورة محاليل مائية .

ومن المهم أن نلاحظ أن مقاومـة المـواد للأكسـدة يعتمـد جزئيا علـى خلو هذه المواد من الشوائب ، ولو أن كمية صغيرة من الشوائب تم أكسدتها ، فإنها ربما تبدأ سلسلة طويلة من التفاعلات الضارة التى تصـل إلـى الجزيئـات المقاومة للأكسدة وتسبب تلفها هى الأخرى.

من أجل ذلك يكـون مـن الضـرورى اختبـار متوسـط عمـر كـل مـادة تجارية على حدها – إذ أنه من المستحيل أن نثـق فـى البيانـات العامـة للمـواد الكيميائية التى تنتجها الشركات كأن نقول على سبيل المثال :

والسـيليكونات مـواد سيئة Silicones are bad والأكلديـلات مـواد مقاومة Acrylics are resistant.

تجمع الماء خلف الغطاء السطحى :

Water accumulation behind Films

تتسرب المياه إلى سطح مواد البناء بطرق عديدة ، سواء كانت بطيئـة أو سريعة .. وأهم هذه الطرق .. الخاصة الشعرية أو التسرب من ماء المطـر المتخلل من خلال اللحامات أو العيوب الموجودة فى طبقة الطلاء الخـارجى ، أو عيـوب نظـام الصـرف الصحـى أو نظـام صـرف ميـاه المطـر .. وتكـون النتيجة تجمع المياه خلف الغطاء السطحى لهذه المـواد خاصـة إذا كـانت غير منفذه .

أيضا ظاهرة التكثف خلال الشقوق أو الشروخ تؤدى إلى نفس النتيجة .. تراكم المياه خلف الطبقة الخارجية .

واذا كانت الطبقة الخارجية للمباني غير منفذة للبخر جزئيا أو كليا ، فإن الماء المتجمع خلفها سوف يتجمد مسببا ضغوط داخلية .

ولو أن عملية البخر حدثت ببطء فإن الأملاح الذائبة تستطيع أن تتبلور خلف الطبقة السطحية مسببة أيضا ضغوط داخلية .

لذلك فإن معاملة أسطح المواد المسامية بطبقة واقية أو طبقة طلاء سطحى Surface coating يلزمه دراسة مبدئية لدورة المياه فى صورتها السائلة والغازية فى البناء، وذلك لتجنب الأخطار التى تسببها حركة المياه التى سبق ذكرها .

******

الفصـــل العاشــر

اللدائـــــن الصناعيـــة

Synthetic Plastics

من الملائم أن نقسم اللدائن الصناعية إلى مجموعتين رئيسيتين :

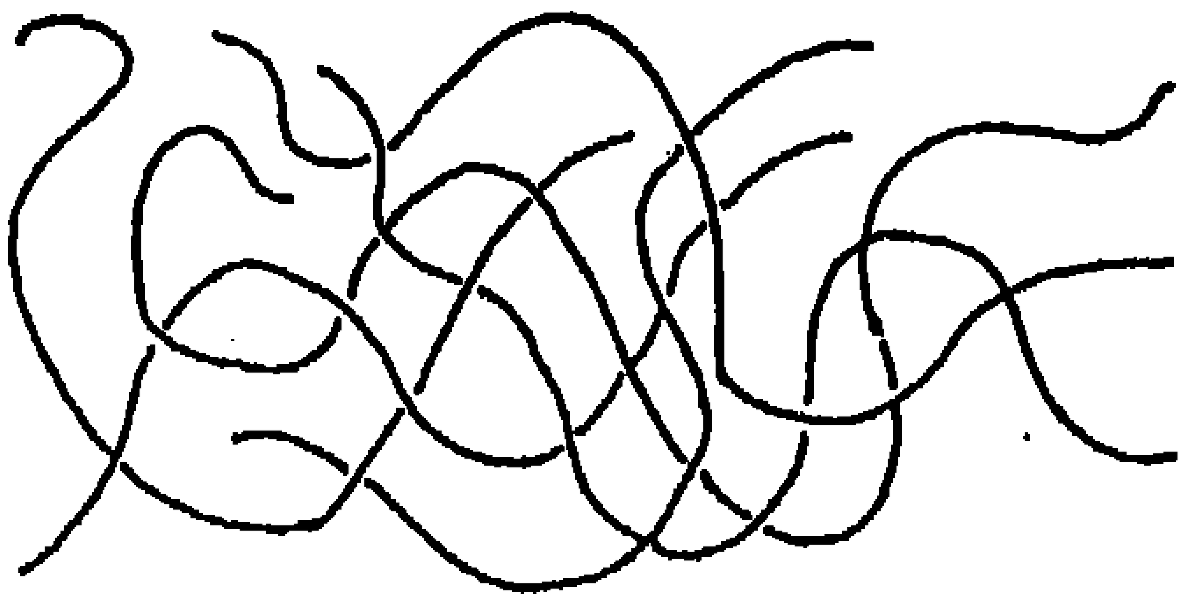
- مجموعة الراتنجات التى تلين بالحرارة Thermo plastic resins .
- مجموعة الراتنجات التى تتصلد بالحرارة Thermosetting resins

١٠-١- الراتنجات التى تلين بالحرارة (ثرموبلاستيك):

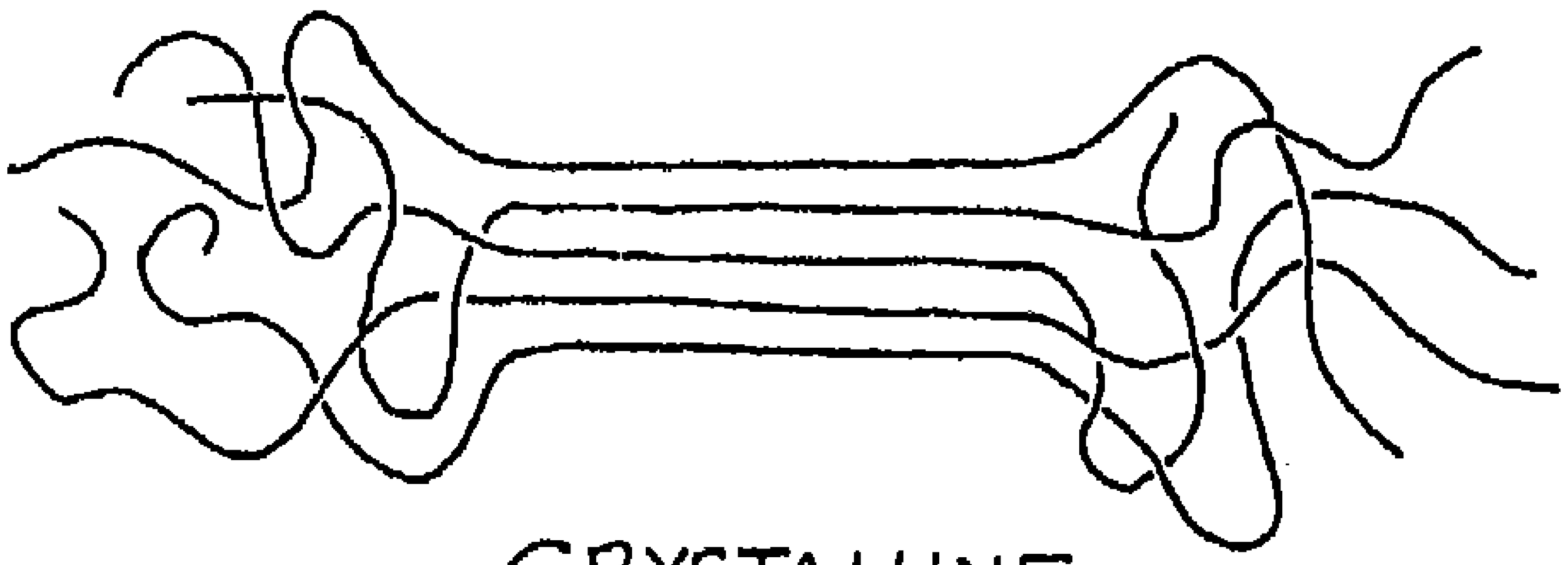
الراتنجات التى تلين بالحرارة .. عبارة عن جوامد جزيئية Molecular solids أى أنها مواد صلبة ، تتكون من : جزيئات هذه الجزيئات طويلة جدا ، ويبدأ تصنيعها من جزيىء صغير يسمى مونمر Monomer الذى يمكن أن يضاف اليه عدد كبير من الجزيئات عن طريق البلمرة Polymerization ليشكل سلسلة طويلة من الجزيئات تسمى : Polymer.

$$\text{Monomer} \xrightarrow{\text{Polymerization}} \text{Polymer}$$

هذه السلاسل الطويلة تكون مرنة ، وربما تميل إلى الفوضى الكاملة أى تكون متشابكة وغير منتظمة فى الأجزاء غير المتبلورة . انظر الشكل رقم (٦٥) أو تترتب جزئيا فى شكل متواز In parallel fashion وذلك فى الأجزاء المتبلورة .. انظر الشكل رقم (٦٥).



(a)

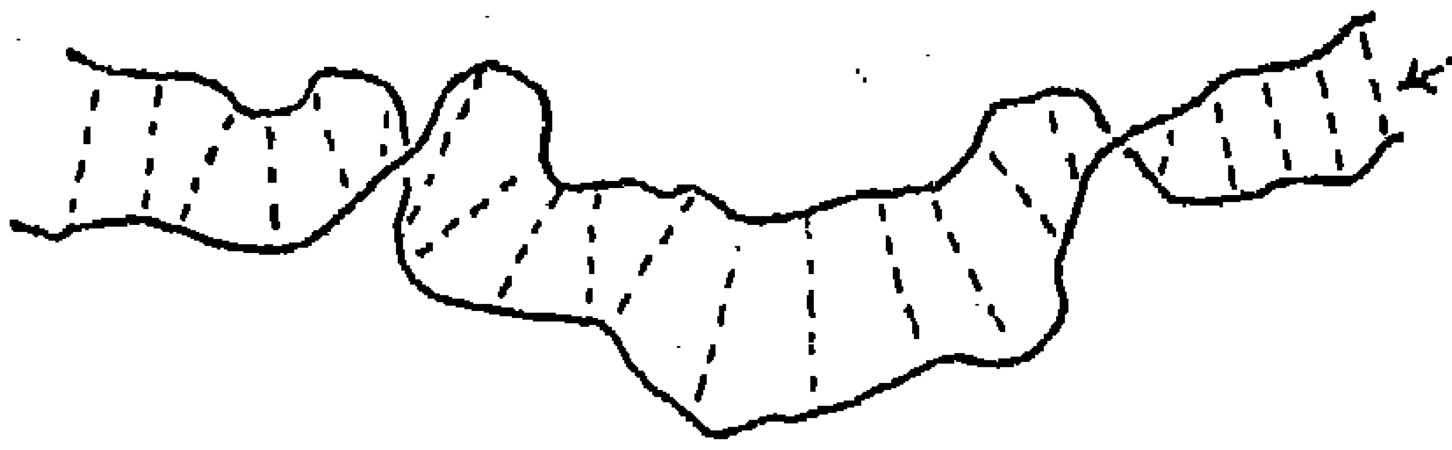


(B)

شكل رقم (٦٥) يوضح
مظهر سلاسل البولمر
(a) سلاسل متشابكة .
(B) سلاسل منتظمة .

والجزء المتبلور يكون صلبا ، لكنه فى نفس الوقت يكون صلدا ، وعندما تكون السلاسل الجزيئية مرنة فإنها تسمح للأجزاء ذات البناء غير البلورى Amorphous بامتصاص الصدمات الميكانيكية Mechanical shocks.

ويلاحظ أن السلاسل الطويلة فى البوليمرات تتدمل ببعضها بواسطة قوى جزينية ضعيفة Weak molecular forces وهذه تسبب تشوهات فىالمادة فى درجة الحرارة المعتدلة ، وتحت الضغط المعتدل .. شكل رقم (٦٦).



شكل رقم (٦٦) يوضح

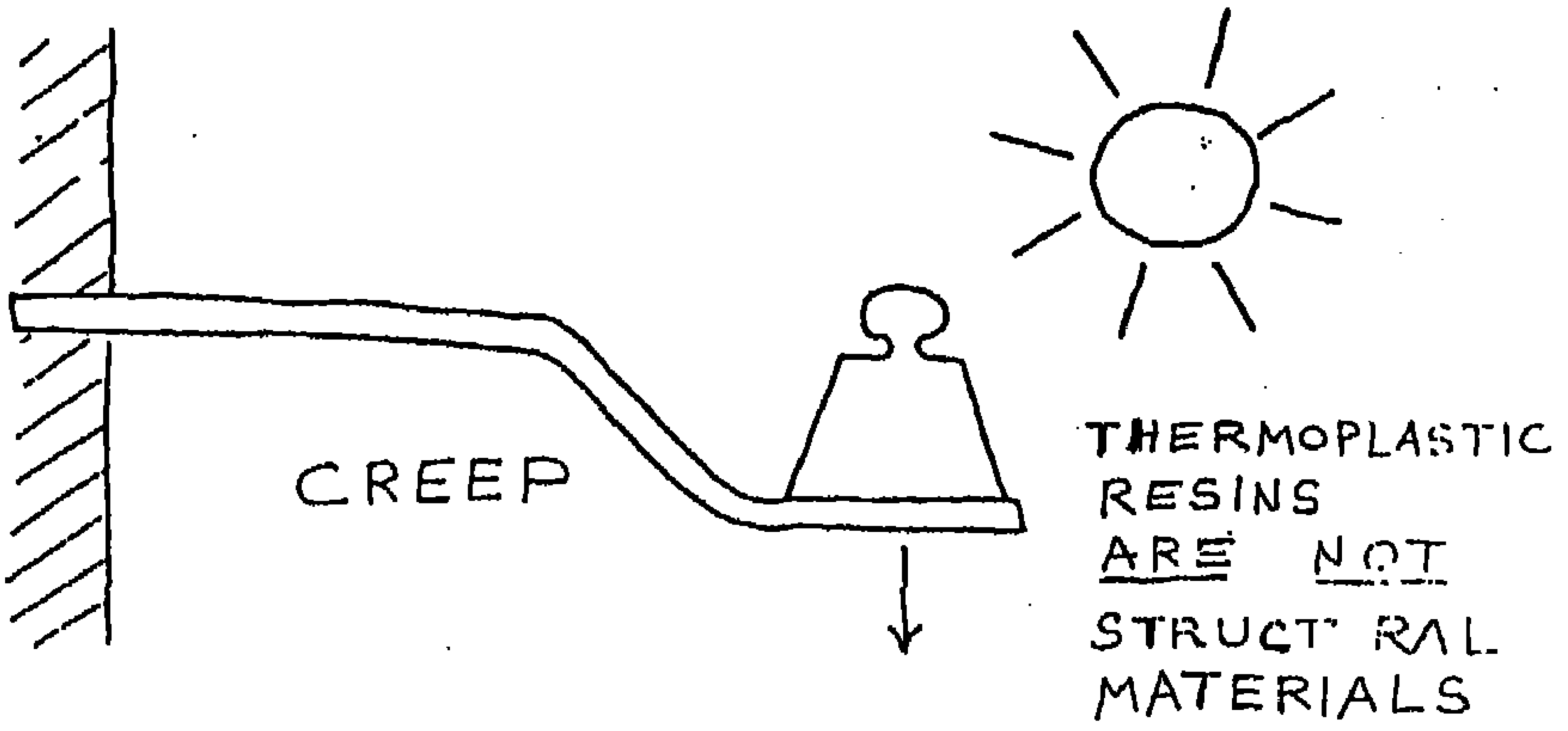
قوى اتصال الجزيئات ببعضها

والراتنجات التى تلين بالحرارة تصبح صلدة ، مثل : الزجاج تحت درجة حرارة معينة – هى درجة حرارة الزجاج Glass temperature وذلك لأن السلاسل لاتكون مرنة بدرجة كافية .. وهذه الراتنجات تصبح زجاجية أو شبيهة بالزجاج فى درجة حرارة الغرفة – وتستخدم كمواد بديلة للزجاج .. مثل : Methacrylates & Perspex .

أما الراتنجات المرنة مثل Polyethlene & Nylon ذات درجات الحرارة الأقل من درجة حرارة الزجاج، فإنها تستخدم كمواد صاده جيدة أى مضادة للصدمات High Resilience وتستخدم فى الألياف Fibres والأفلام Films.

هذا وتصنع اللواصق من كلا النوعين من الراتنجات التى تلين بالحرارة ... مثل : Polyvinyl acetate & Acrylic .

ويلاحظ أن راتنجات ثرموبلاستيك ليست مواد بناء Not Structural Materials وذلك لأنها لاتستطيع أن تتحمل أحمالا ثقيلة لفترات طويلة .. انظر الشكل رقم (٦٧).

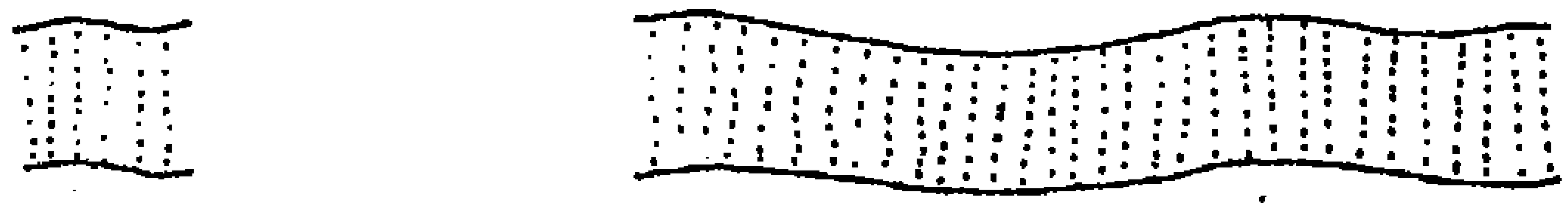


شكل رقم (٦٧) يوضح

ضعف راتنجات ثرموبلاستيك كمادة بناء

وذلك يعتمد على ضعف القوى التى تربط الجزيئات ببعضها،والتى تنهار ببطء تحت تأثير أقل قوة مسببة تشوهات ، هذه التشوهات تزداد باستمرار مرور الوقت ،وربما تؤدى فى النهاية إلى الانهيار الكامل Complete failure أو يتغير أبعادها تغيرا بطينا نتيجة للإجهادات المستمرة، أو نتيجة التعرض لإرتفاع درجة الحرارة .

ويلاحظ أن الجزيئات ذات السلاسل الطويلة تظهر سلوك ميكانيكى أفضل من الجزيئات ذات السلاسل القصيرة ، بمعنى أن خواص الصلابة والقوة Hardness & Strength تزداد فى حالة طول السلاسل الجزنية فى المادة ، لأن قوى التجاذب بين كل جزنين تساوى نفس قوى التجاذب بين كل ذراتهما .

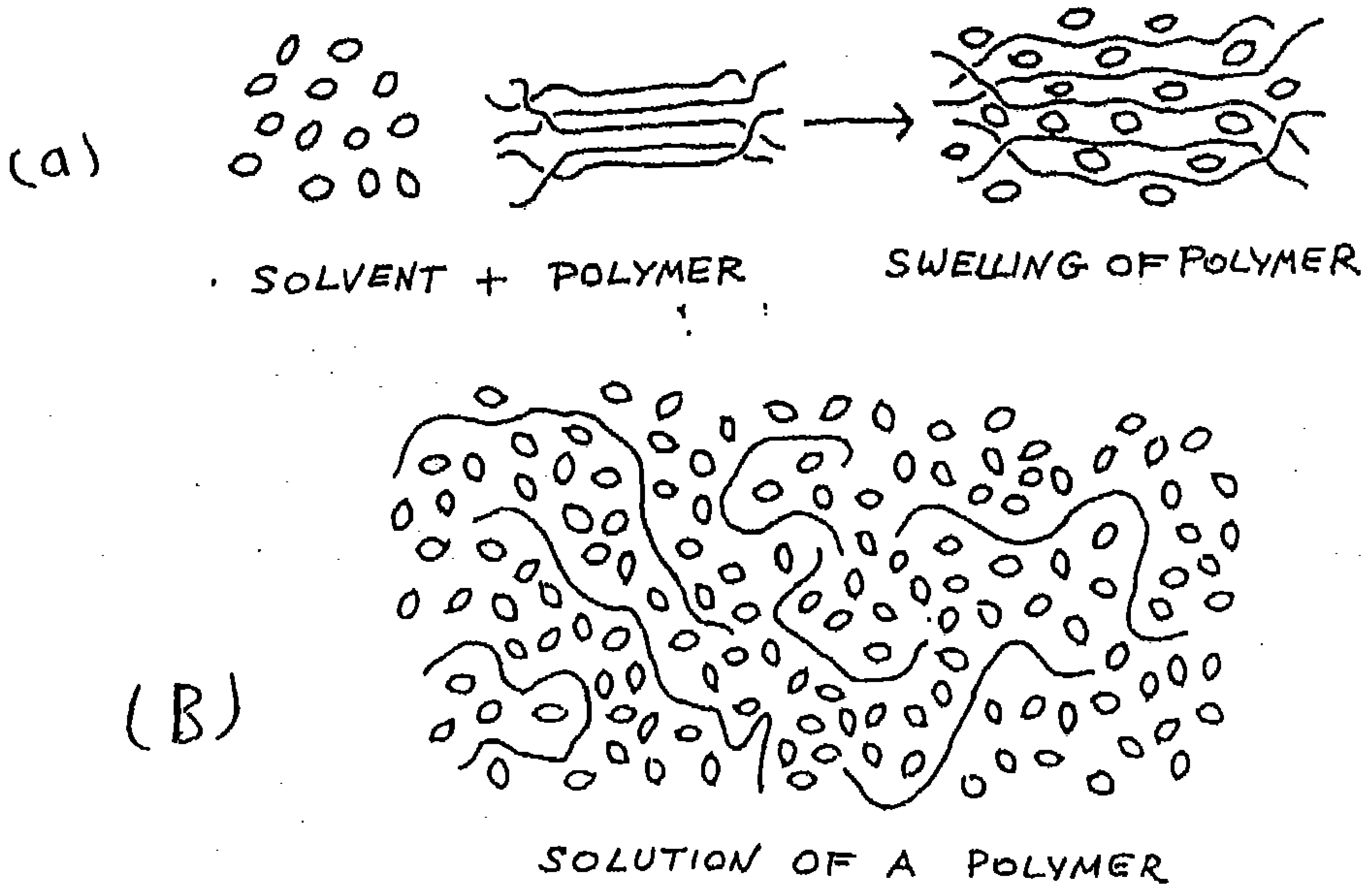


شكل رقم (٦٨) يوضح

زيادة قوى التجاذب بين الجزيئات بزيادة طولها

ذوبان راتنجات ثرموبلاستيك :

الجزيئات الطويلة فى راتنجات ترموبلاستيك لاتذوب بسهولة فى المذيبات ،وذلك لأن جزيئات المذيب تتأخر فى التحلل بين هذه الجزيئات ، لذلك يلاحظ وجود مرحلة وسط An Intermediate Stage قبل مرحلة الذوبان .. فى هذه المرحلة تنتفخ المادة Swells بعد تشبعها بالمذيب وتصبح طرية ، والتحلل الكامل يحدث عندما تنفصل كل الجزيئات عن بعضها فصلا تاما مكونة محاليل . انظر الشكل رقم (٦٩).



شكل رقم (٦٩) يوضح

ذوبان راتنجات ثرموبلاستيك

(a) مرحلة الانتفاش .

(B) مرحلة الذوبـــان .

ويلاحظ أن محاليل البوليمرات تكون لزجة Viscous ويرجع السبب فى ذلك إلى أن الجزيئات الطويلة تتجاذب مع بعضها وتمنع سيولة المادة .. كما أن بعض البوليمرات ذات الجزيئات الطويلة جدا مثل : النايلون والبولى ايثيلين من الممكن أن تكون مواد غير قابلة للذوبان .. إلا أنها قد تكون محاليل عالية اللزوجة .

البوليمرات التى تضع من الجزيئات الصغيرة تتحلل بسهولة ومحاليلها تكون أقل لزوجة من محاليل البوليمرات ذات الجزيئات الكبيرة ، إلا أن قواها الميكانيكية فى الحالة الصلبة تكون أقل ... لذلك فإنها تكون مناسبة أكثر لعمليات التخلل فى المواد المسامية من خلال عملية التشبيع Impregnation.

– استخدام راتنجات ترموبلاستيك فى أعمال الترميم لك

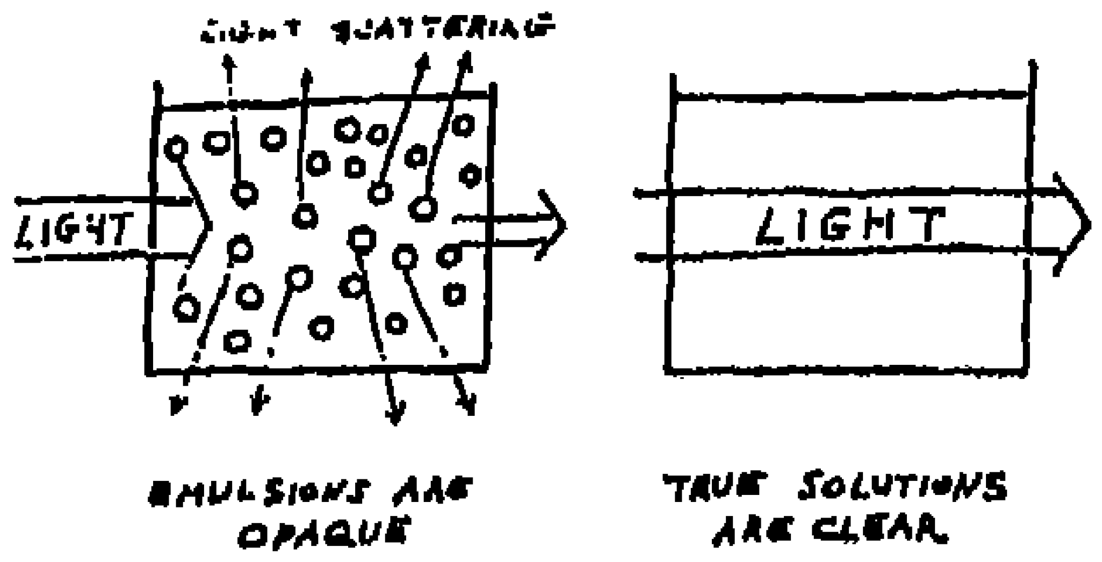
فى أعمال ترميم المبانى فإن الراتنجات التى تلين بالحرارة من نوع الاكريلات Acrylics والبولى فينيل أسيتات Poly Vinyl Acetate تكون أكثر فائدة ، وذلك لأنها من الممكن أن تذوب فى المذيبات العضوية ، ومحاليلها يمكن أن تستخدم كلواصق للمواد ذات الأوزان الخفيفة ، أو تكون غطاءات (طلاءات) واقية Protective coatings على الأحجار والجبس والصور الجدارية .

ومن حسن الحظ أنه يمكن استخدامها أيضا فى تقوية الخشب والمون والأحجار بطريقة التشبيع ..

– مستحلبات راتنجات ترموبلاستيك :

الأكريلات والبولى فينيل أسيتات ، راتنجات مناسبة لتكوين مستحلبات مع الماء ، ويسهل التعرف عليها من خلال محاليلها الحقيقية ، لأنها تكون

معتمة ، وبيضاء اللون مثل اللبن ، ويرجع السبب فى إعتام هذه المستحلبات إلى إحتوائها على جزيئات متكتله فى صورة عناقيد من البوليمر معلقة فى الماء، وهذه تؤدى إلى تفريق الضوء الأبيض الذى يمر خلالها.

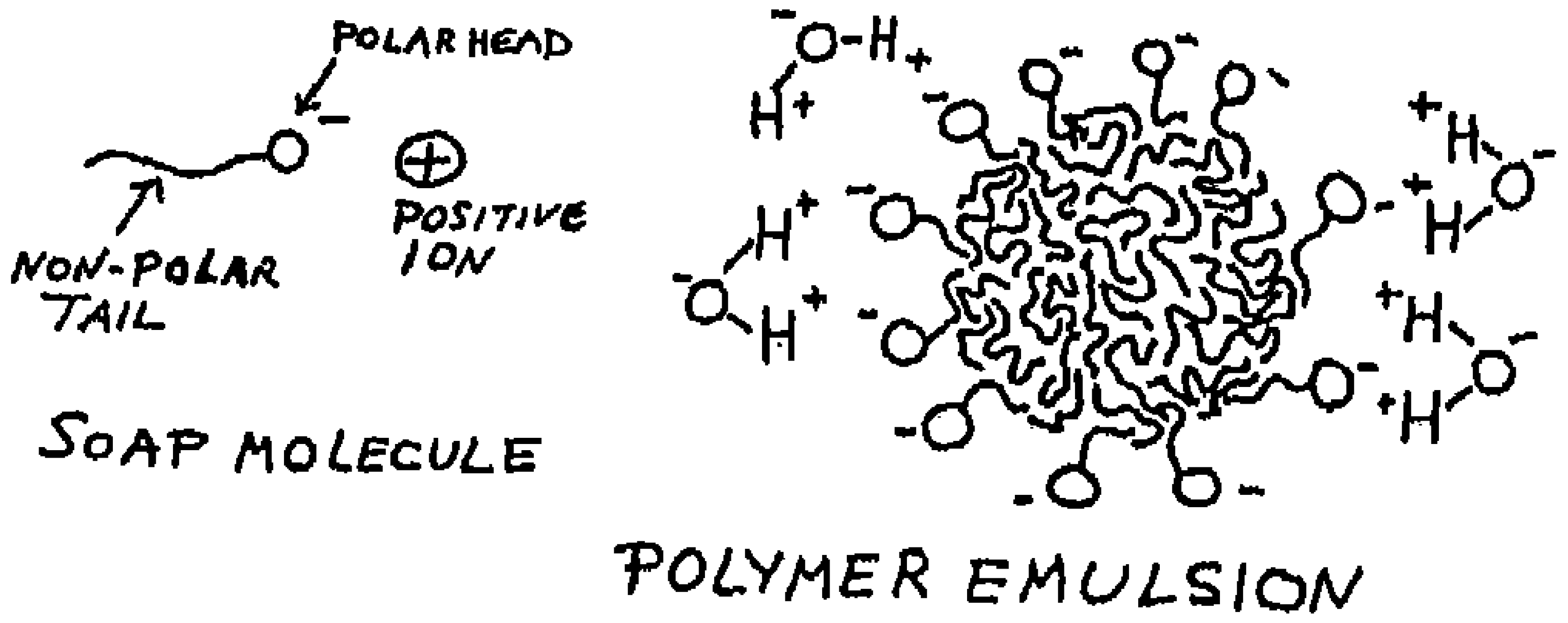


شكل رقم (٧٠) يوضح

يوضح إعتام مستحلبات راتنجات ثرموبلاستيك وتفريقها للضوء

ويلاحظ أنه فى المحاليل الحقيقية The true solution الجزيئات الصغيرة المفردة تنفصل عن بعضها ولا تسبب تفريق أو تبعثر الضوء لأنها أصغر كثيرا من الطول الموجى للضوء.

ومن الممكن صنع مستحلبات باستخدام صوابين تغطى القطرات الصغيرة من جزيئات البوليمر، التى لاتذوب فى الماء ... انظر الشكل رقم (٧١) حيث أن الرأس القطبى المحب للماء فى الصابون تجذب الماء وتذوب فيه، ولاتسمح لقطرات البوليمر الصغيرة بالاتحاد مرة ثانية ..



شكل رقم (٧١) يوضح

مستحلب صابونى لايذوب فى الماء

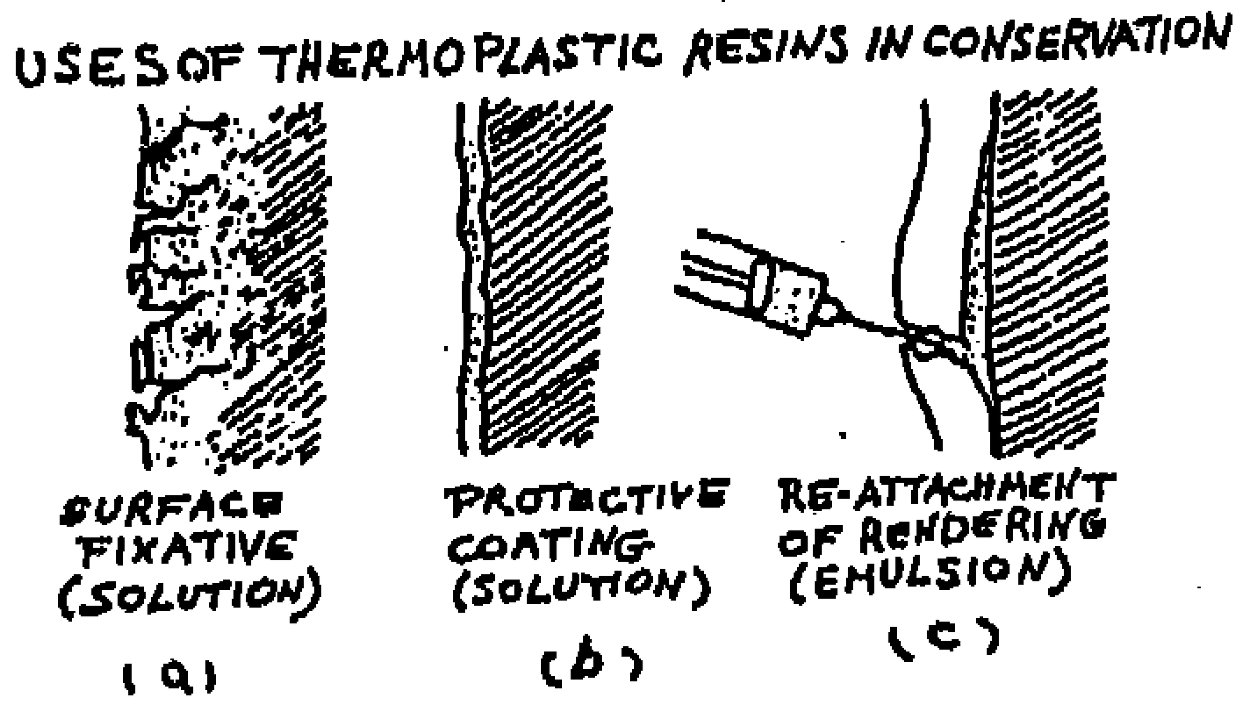
- استخدام المستحلبات فى صيانة الآثار :

لاشك أن استخدام المستحلبات فى صيانة الآثار محدود لأنه مرتبط بحقيقة ثابتة وهى : أنها تحتوى على صابون واضافات أخرى غير مضمون سلوكها عند القدم .

أيضا لانستطيع استخدامها فى تشبيع المواد المسامية ، لأن تجمع جزيناتها الطويلة لايسمح بتخللها جيدا فى المسام .

وغالبا تستخدم مستحلبات راتنجات ثرموبلاستيك فى أعمال الصيانة كلواصق As adhesives لإعادة لصق طبقات البياض مرة أخرى بالجدران، أو كإضافات للجير أو الجبس أو الأسمنت عند عمل المون ،وذلك لرفع مقاومة المون للإنثناء Flexural strength وأيضا تقليل هشاشيتها . Decrease Fragility of the mortars

وفيما يلى شكل يوضح أسلوب استخدام راتنجات ثرموبلاستيك فى أعمال الصيانة للآثار .. شكل (٧٢).



شكل رقم (٧٢) يوضح

أسلوب استخدام راتنجات ثرموبلاستيك فى الصيانة

(a) تثبيت وتقوية سطح الأثر

(b) عمل طبقة سطحية واقية

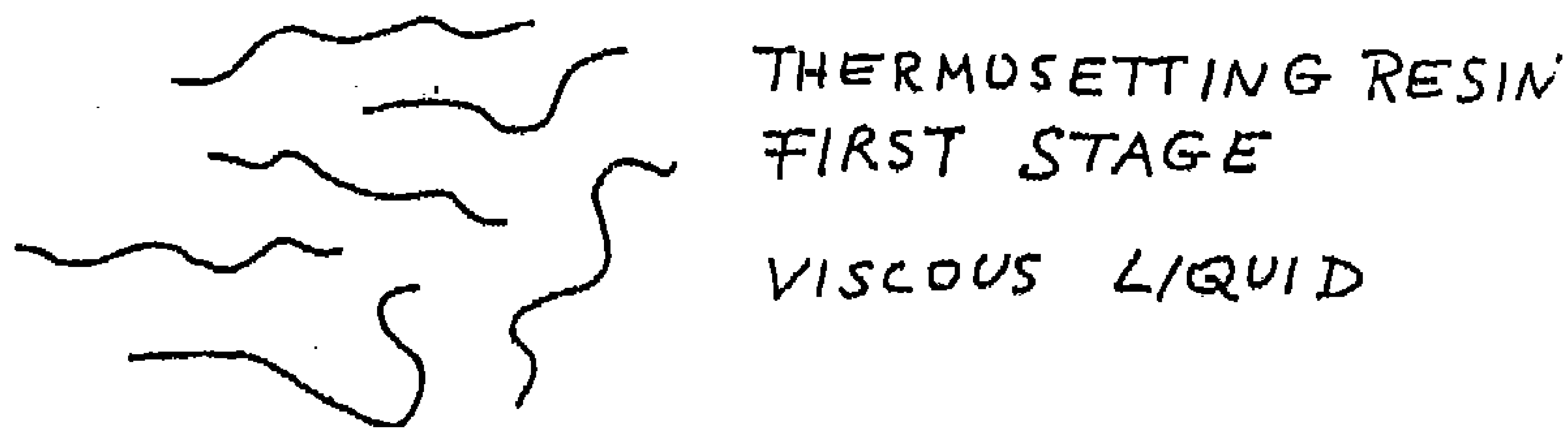
(c) اعادة ثبيت طبقة البياض

١٠-٢- راتنجات تستقر بالحرارة Thermosetting Resins :

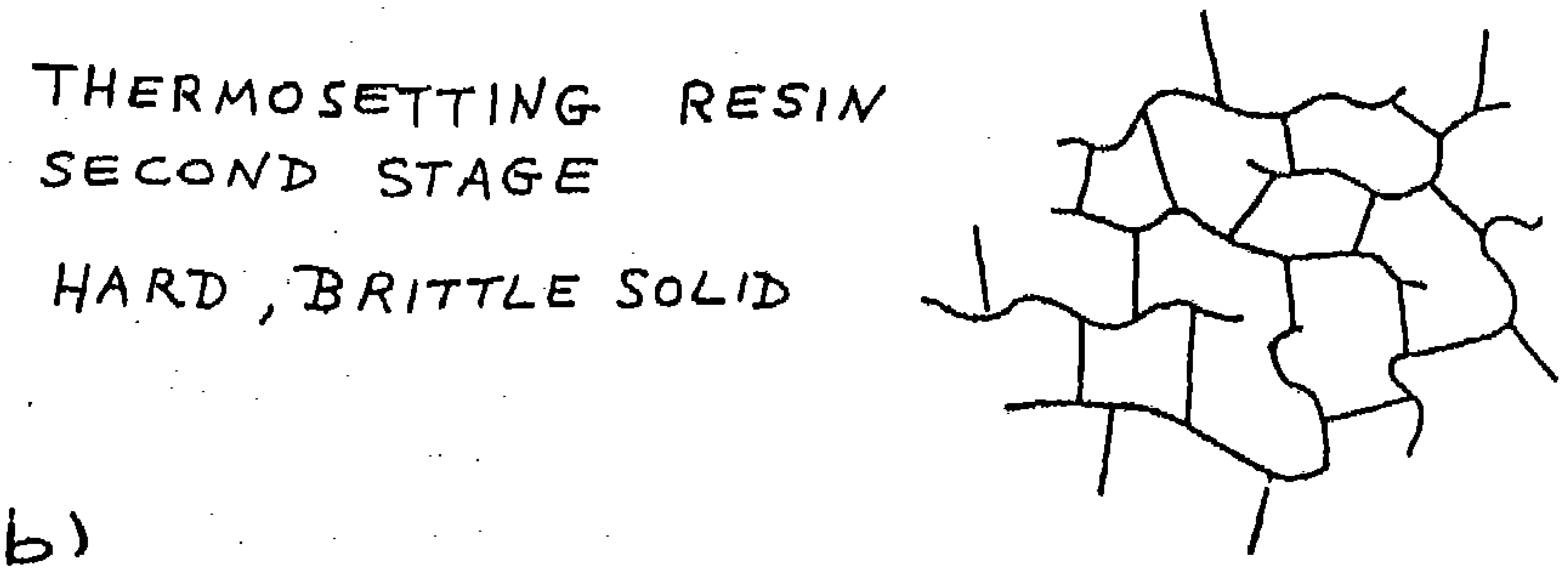
يتم تصنيع الراتنجات التى تستقر أو تتصلد بالحرارة على مرحلتين :

المرحلة الاولى : تجهيز جزيئات السلاسل الطويلة بالطريقة الكيميائية .

المرحلة الثانية : التفاعل الكيميائى أو تأثير الحرارة أو كلاهما معا لاحداث ارتباط مستعرض أو تشابك Cross linking للسلاسل مع بعضها البعض لتكون فى النهاية كتلة صلبة هشة Hard brittle mass وتسمى هذه المرحلة. مرحلة إستقرار الراتنج . انظر الشكل رقم (٧٣).



(a)



(b)

شكل رقم (٧٣) يوضح

مراحل تصنيع راتنجات ثرموسيتنج

(a) الراتنج فى صورة سائل لزج .

(b) الراتنج كتلة هشه صلبـــــة.

الراتنجات التي تتصلد بالحرارة ، وشائعة الاستخدام هي : الإيبوكسيات مثل : الأرالديت ، والبولي استرات .. وكل منهما يوجد في صورة سوائل لزجه Viscous liquids تتجمد بدون حرارة ، ولكن بإضافة سوائل أخرى تعمل كعامل حفاز Catalyst تسمى : مجمد أو مصلب Hardener..

وعند شك الراتنج فإن السلاسل الطويلة تظل مرتبطة مع بعضها البعض بروابط كيميائية قوية، على عكس راتنجات ثرموبلاستيك التي ترتبط جزيئاتها مع بعضها بقوى ربط جزئية ضعيفة Weak molecular forces.

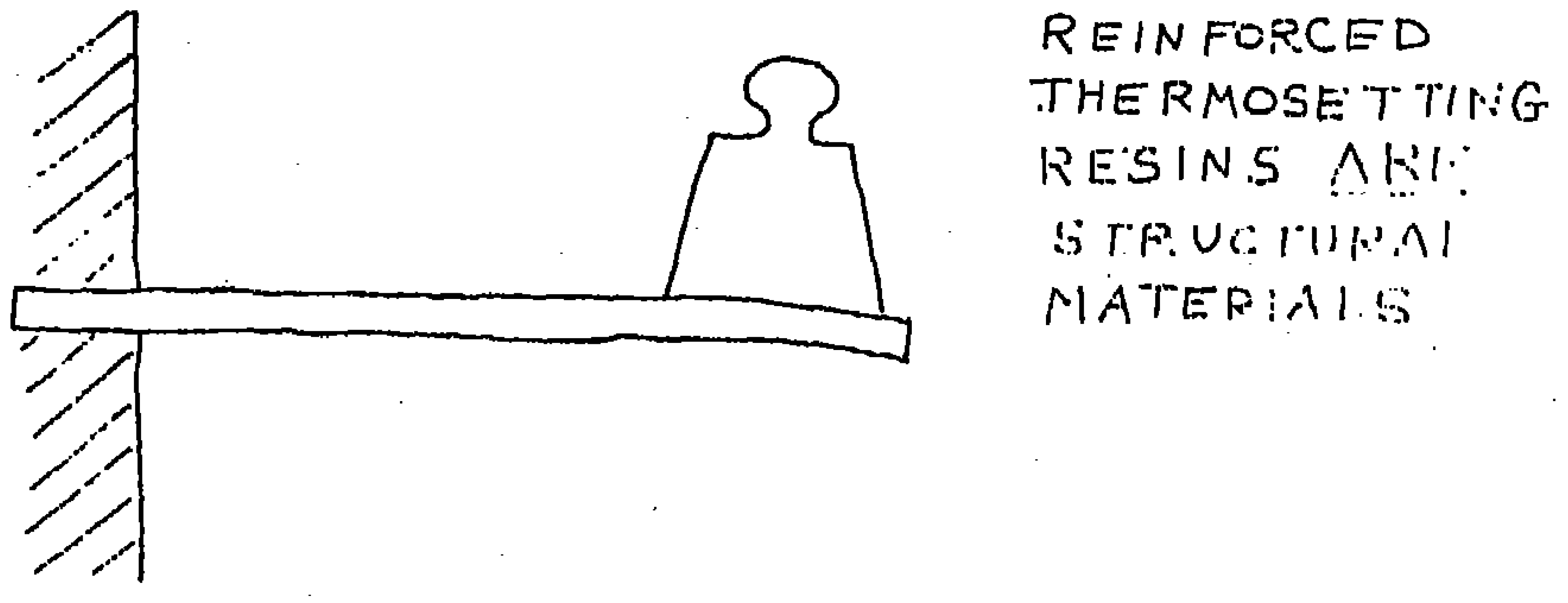
وبناء على ذلك فإن راتنجات ثرموسيتنج بعد التجمد أو التصلد لاتنثني بسهولة ، ولايمك تشكيلها بالحرار أو الضغط .. أى أن راتنجات ثرموسيتنج أصلد وأقوى من راتنجات ثرموبلاستيك ، ولكنها أيضا أكثر هشاشية .

من أجل ذلك يتم تحسين الخواص الميكانيكية لراتنجات ثرموسيتنج بإضافة مواد مالئة لسائل الراتنج قبل الشك أو التصلد..

ومن أشهر المواد المالئة : الصوف الزجاجي Fibrous glass والمواد اللدنه Yields materials وذلك لتحسين خواص المرونة.

راتنجات ثرموسيتنج مواد بناء :

من الممكن استخدام راتنجات ثرموسيتنج كمواد بناء نظرا لكونها أكثر مقاومة للتشوهات من راتنجات ثرموبلاستيك .. انظر الشكل رقم (٧٤) حيث يقاوم الراتنج المسلح الأحمال الثقيلة .



شكل رقم (٧٤) يوضح
اتنجات ترموسيتنج المسلحة للأحمال الثقيلة

بعض راتنجات ترموسيتنج :

راتنـج الايبوكسى : راتنج الايبوكسى لاصق جيد لمعظم المواد فيما عدا البولى ايثيلين والنايلون والأسطح الدهنية أو الشحمية والسيليكونات ، كما أنه مقاوم للماء ، وللعديد من المواد الكيميائية .

واللواصق التى أساسها راتنج الإيبوكس تستخدم على نطاق واسع فـى صيانـة مـواد البنـاء .. مثـل : إصـلاح الأحجـار المكسـرة وسـد الشـروخ فـى الخرسانة ، ولحام وصل أعمدة التسليح فى المبانى .. الخ .

كما أن راتنج الايبوكس أحد أشهر راتنجات ترموسيتنج التى لاتـذوب فى معظم المذيبات ..

راتنج بولى استر : راتنج البولى استر أقل مقاومة كيميائية من الايبوكسى ، لكنه أرخص سعرا منه .. والبولى استر المسلح بألياف الزجاج مادة واسعة الانتشار والاستخدام فى الاسقف خفيفة الوزن Light weight sheds أو كعناصر بنائية Structural elements ، كما أن راتنج البولى استر المقوى يستخدم فى تكنيك ماسارى Massari technique لبناء مدماك ضد الرطوبة Damp-proot course فى المبانى القديمة ، أيضا يستخدم البولى استر فى حقن الشروخ الدقيقة حيث يتصلب داخلها ويعمل على تقويتها .

كما أن كلا من الايبوكسى والبولى استر يستخدم فى عمل قوالب، لنسخ القطع الفنية .

١٠-٣- تجوية اللدائن الصناعية

Weathering of synthetic plastics

اللدائن الصناعية تتحلل بفعل تأثير البيئة، والعامل الأساسى فى التحلل هو: غاز الأكسجين، خاصة فى وجود الضوء ، إذ ثبت أن الأشعة فوق البنفسجية هى أخطر الإشعاعات على المواد المصنعة من اللدائن الصناعية ..

وأكسدة اللدائن الصناعية يتم بأسلوبين متناقضين ظاهريا .

الأسلوب الأول : تكسر الجزيئات ، وتكوين جزيئات صغيرة مؤكسدة oxidized fragments.

الاسلوب الثانى : فك الارتباط المستعرض Cross- linking بين السلاسل الطويلة ..

وتكون نتيجة هذه العمليات المعقدة مايلى :

١- تغير اللون Discoloration.

٢- فقد قوى الشد Loss of tensile strength.

٣- الهشاشة Brittleness .

وغالبا ماتصبح المواد قابلة للذوبان في الماء ، ويسهل غسلها ونزحها من الأسطح الظاهرة، مثل مايحدث لمادة البولى استر في الأسقف المصنوعة من البولى استر المقوى بألياف الزجاج Polyester- glass Roofing .

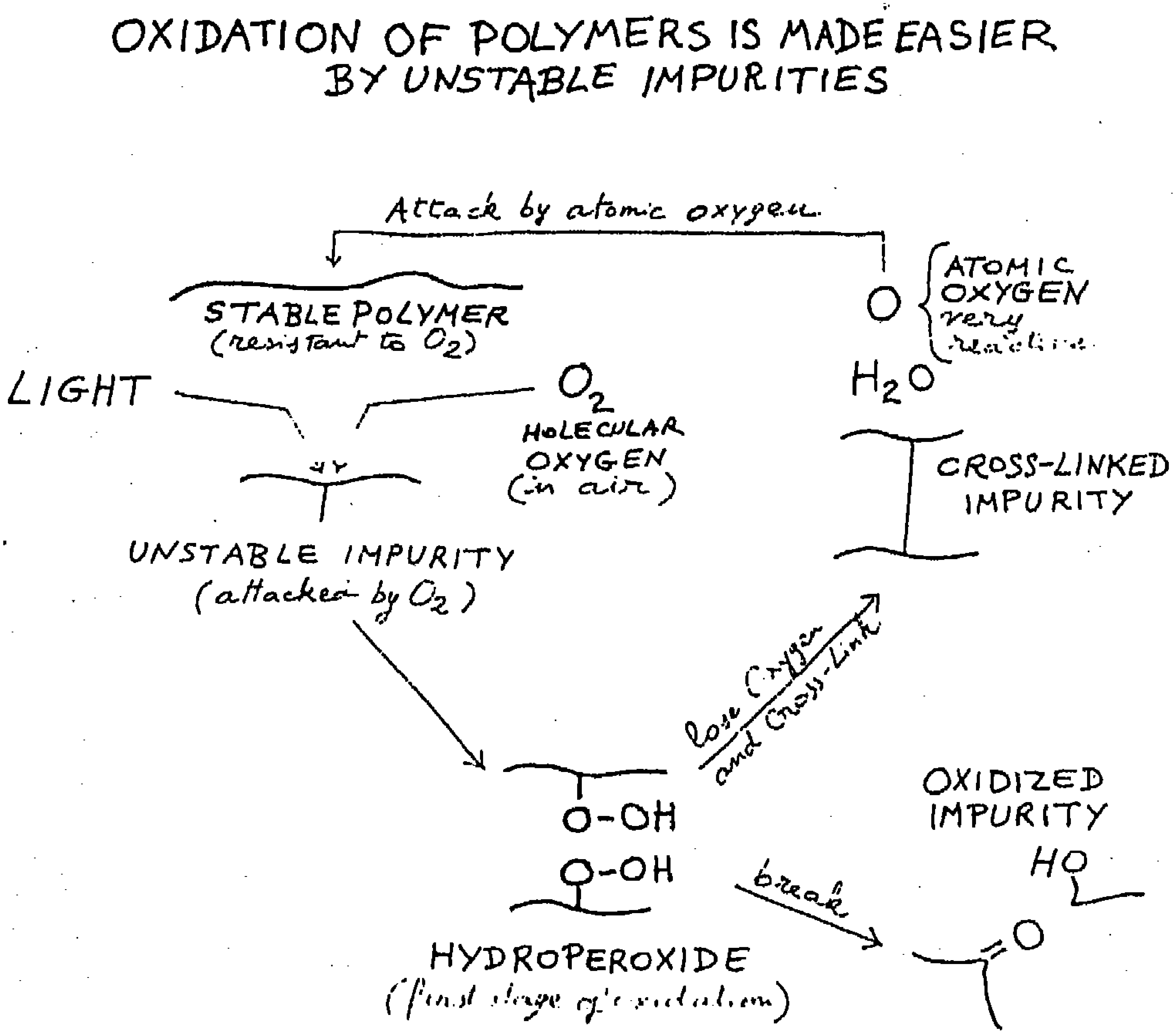
أيضا فإن أكسدة اللدائن الصناعية تصبح سهلة لو وجد بها شوائب ، حيث يسهل مهاجمتها بالأكسجين ،وأثناء أكسدة هذه الشوائب ينتج اكسجين جديد Fresh Oxygen يكون أنشط من أكسجين الهواء الجوى ؛ ويعمل بسرعة على تكسير الجزيئات الأكثر مقاومة لأكسجين الهواء الجوى ..

لهذا السبب فإن المواد الصناعية يجب أن تكون ثابتة جدا وذات خواص ثابتة إلى أقصى درجة .. انظر الشكل رقم (٧٥).

وكل المنتجات التجارية يجب أن تختبر على إنفراد ، ويكرر الاختبار مرة بعد أخرى ، كما أن المواد الكيميائية المشابهة لها فى التركيب الكيميائى، لايجب أن نوافق عليها إلا إذا قام الدليل على أن سلوكها جيد عند القدم .. ويجب أن نرفضها إذا كان سلوكها سيىء عند القدم Ageing.

ويلاحظ أن راتنجات الاكريلك تعطى مقاومة عالية ضد الأكسجين ، والأشعة فوق البنفسجية ، فى حين أن راتنجات الأيبوكسى يتغير لونها بسرعة، لذلك لايجب استخدامها فى الأسطح الظاهرة أو المعرضة للجو ..

والأيبوكسيات والبولى استرات تبدى مقاومة جيدة ضد عمليات القدم Ageing لو حفظت بعيدا عن الضوء والاكسجين ، مثلما يحدث عند استخدامها كلواصق بنائية ، أو مداميك مانعة للرطوبة .



شكل رقم (٧٥) يوضح

أكسدة البوليمرات فى وجود الشوائب والضوء والأكسجين

الفصل الحادى عشر

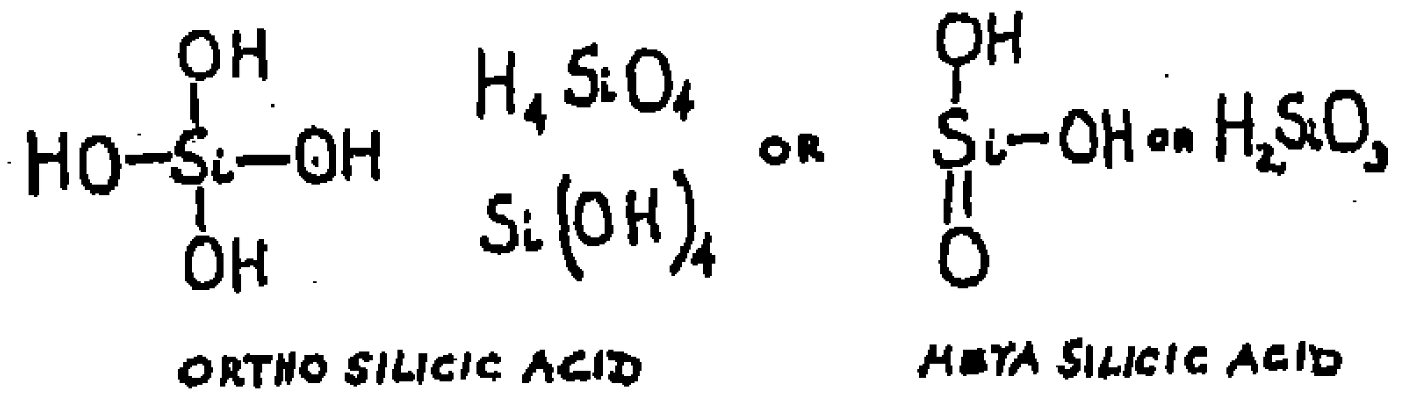
السيليكات والسيليكونات

Silicates & Silicones

١١-١- السيليكا والسيليكات Silica & silicates:

يكون عنصر السيليكون اكسيد يسمى : السيليكا SiO_2 والسيليكا توجد فى الطبيعة فى أشكال متعددة .. مثل : الكوارتز.. كما توجد والسيليكاجل Silicagel ، كما أنه إذا تم هدرته اكسيد السيليكون (سيليكا + ماء) فإنه يتصرف كما لو كان حمض ضعيف .. مثل :

Meta Silicic Acid , Ortho Silicic Acid



وهذه الاحماض تكون أملاح شمس: سيليكات Silicates فى الأحجار على سبيل المثال : سيليكات الصوديوم $Na_2 SiO_3$ أو سيليكات البوتاسيوم $K_2 SiO_3$ اللذان تم استخدامهما فى الماضى فى تقوية الأحجار والخشب وبعض المواد الأخرى.

تفاعل الهدرته Hydrolysis الذى يتم بين كل من سيليكات الصوديوم أو سيليكات البوتاسيوم مع الماء يكون نتيجته حمض سيليسى وهيدروكسيد صوديوم أو بوتاسيوم .

ومن المعروف أن هذه الهديروكسيدات ذات قلوية عالية ، ويفضل تعريفها بالأسماء الآتية :

هيدروكسيد صوديوم = صودا كاويه Causic soda

هيدروكسيد بوتاسيوم = بوتاسا كاويه Caustic potash

وعند استخدام الهيدروكسيدات السابقة فى التقوية فإن الحمض السيليسى الناتج عن تفاعل الهدرته ، يكون مسئولا عن تقوية المواد ولو تركت هذه

الهيدروكسيدات وحدها ، أى بدون استخدامها فىالتقوية فان الحمض يتحول إلى كتلة جيلاتينية تسمى : Gel ، هذه الكتلة تتكمش باستمرار بسبب فقدها للماء حتى تتحول فى النهاية إلى تراب السيليكا Silica dust وذلك طبقا للمعادلة التالية :

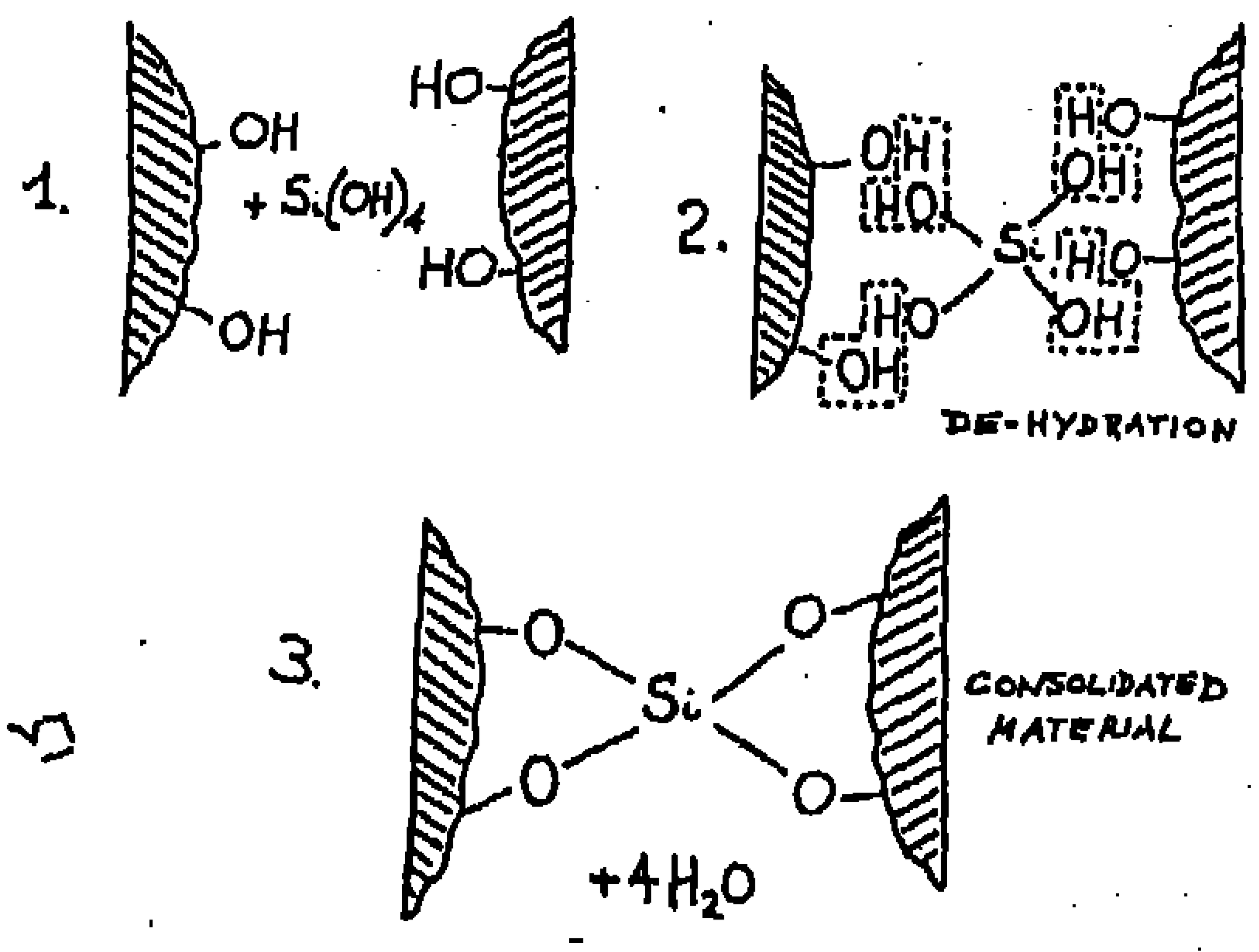
$$Si(OH)_4 \rightarrow SiO_2 + 2H_2O$$

silica gel — silica dust — water

أما لو تكون الحمض داخل المواد بعد استخدام الهيدروكسيدات فى

التقوية، فإن المواد التى تحمل مجموعات هيدروكسيل (OH) على أسطحها مثل: الخشب والطوب والطين وأنواع عديدة من الأحجار يحدث بينها وبين الحمض المتكون عملية نزع للمياه Dehydration يكون نتيجتها تكون رابطة كيميائية بين السيليكا والمواد القطبية المحبة للماء ، هذه الرابطة يكون وظيفتها تحسين خواص التماسك لهذه المواد المعالجة

Improve the cohesion of the materials



شكل رقم (٧٦) يوضح

استخدام هيدروكسيد السيليكون فى تقوية المواد

ولو رجعنا قليلا إلى الوراء فإننا سنلاحظ أن استخدام أملاح السيليكات Silicate salts والتى ينتج عنها مواد كاوية Caustic materials أثناء عملية التميؤ Hydrolysis فى تقوية المواد ، فإن المواد الكاوية تضر المواد العضوية بصفة خاصة ، وتحدث تزهر للأملاح Efflorescences على المواد المسامية غير العضوية ..

وقد يتفاعل الحمض السيليسى Silicic acid مثل كل الأحماض مع الكحولات لتكوين استرات Esters تسمى نسبة إلى الحمض سيليكات وان كان من الأفضل تسميتها: استرات السيليكات Silicate Esters وذلك طبقا للمعادلة العاليه .

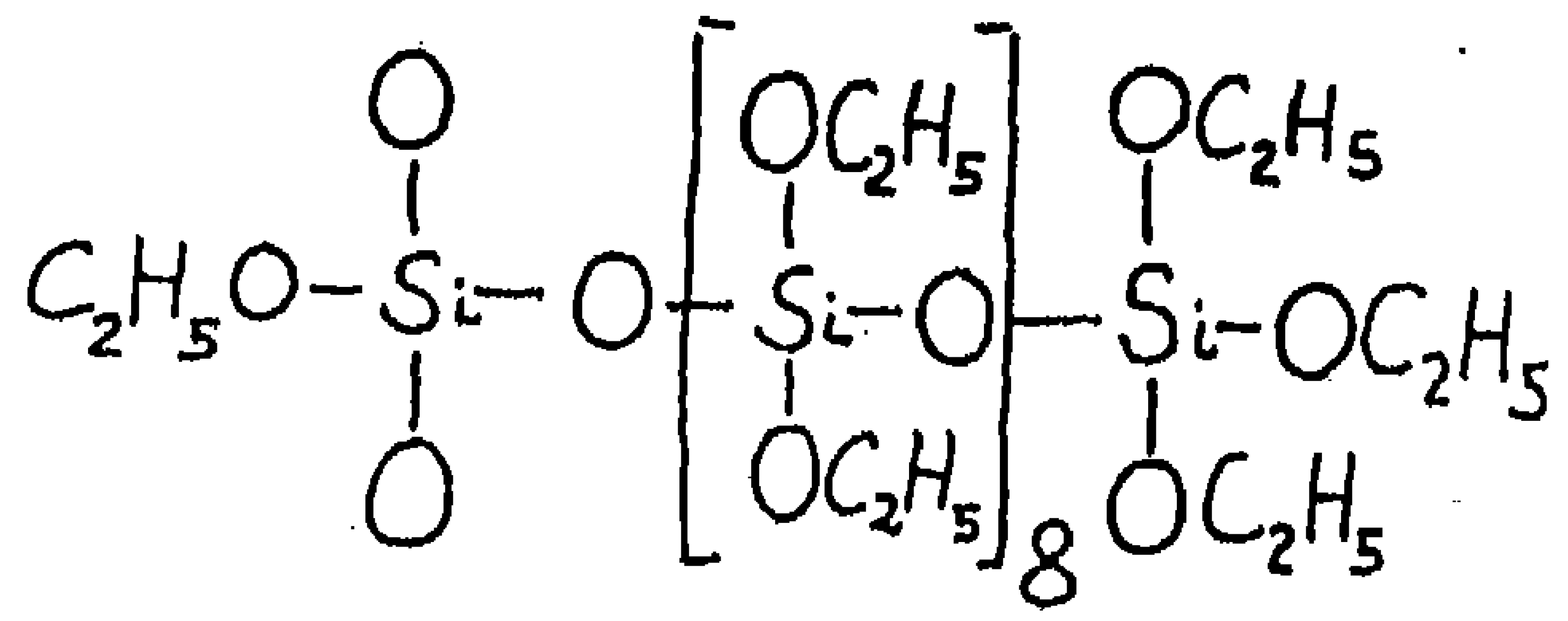
$$Si(OH)_4 + 4C_2H_5OH \rightarrow Si(OC_2H_5)_4 + 4H_2O$$

Silicic Acid	Ethyl Alcohol	Ethyl Silicate	Water

واسترات السيليكات متاحة فى السوق تحت مسميات تجارية مختلفة ... مثل : Silester وبعض أنواع استرات السيليكات تحتوى على جزيئات مفردة ، مثل : الإستر الموضح ، فى المعادلة السابقة ، وإسمه الكيميائى الكامل:

Tetra - Ethyl - Ortho - Silicate

كما يوجد أنواع أخرى تحتوى على جزيئات طويلة وهذه تتكون بواسطة عملية التكثيف Condensation للعديد من الجزيئات المفردة .. مثل: سيليكات الإيثيل ٤٠ – Ethyl silicate 40 والذى يتكون نتيجة لتكثيف حوالى عشرة جزيئات مفردة .



EHYL SILICATE 40

هذا مع العلم بأنه يمكن إنتاج أنواع عديدة من الأحماض السيليسية ، من نفس حجم السائل ،وذلك فقط فى الأنواع التى تنتج بعملية التكثيف..

أيضا تستخدم إسترات السيليكات فىالتقوية ، وذلك لأنها تتميأ Hydrolyzed فى حالة استخدام عامل حفاز حمضى An acid catalyst ويكون ناتج عملية التميؤ حمض سيليسى يستطيع القيام بعملية التقوية كما فى حالة أملاح السيليكات ..

هذا وتتميز إسترات السيليكات عن أملاح السيليكات بغياب المواد الكاوية المنتجة جانبيا أثناء تفاعل الهدرته .

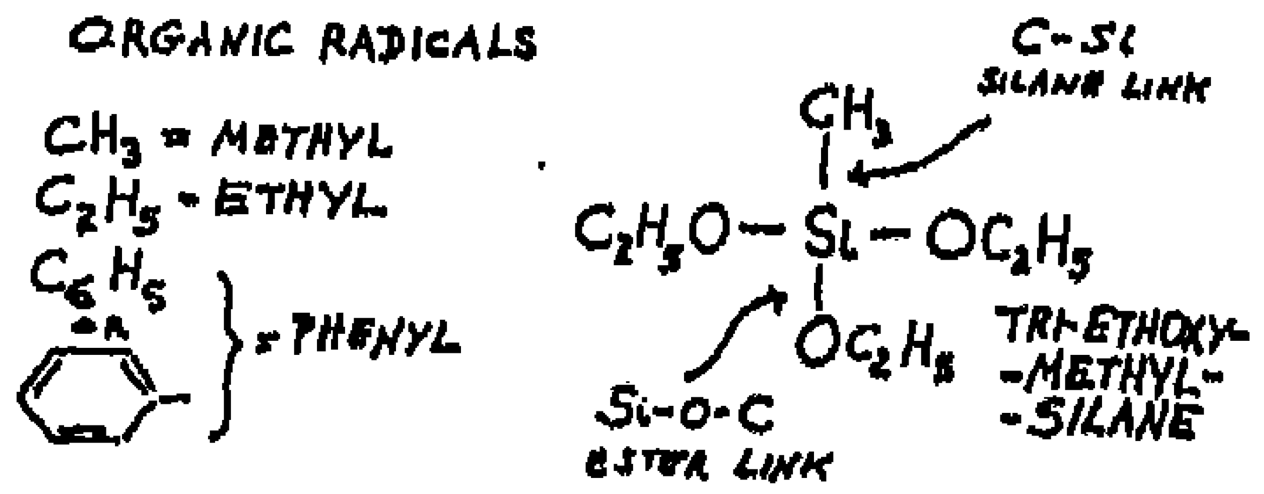
وفى حالة سيليكات الإيثيل فإن المنتج الجانبى يكون الكحول الإيثيلى، الذى يتبخر ولايسبب أى مشاكل .. وقد تحدث بعض المشكلات فى حالة استخدام عامل حفاز حمضى ، لو أن بعض المواد التى سيتم تقويتها حساسة للأحماض..

كما أن استخدام استرات السيليكات بصفة عامة فى التقوية عملية صعبة للغاية، وذلك إعتمادا على حقيقة هامة وهى: أنها مواد طيارة، ويجب اتخاذ الإحتياطات اللازمة لتجنب البخر قبل ماتصل مادة التقوية إلى المكان المطلوب تقويته .

١١-٢- السيليكونات Silicones:

لو أن الشق العضوى ، أى مجموعـات الكربـون وذرات الهيدروجين إتصلت مباشرة بالسيليكون من خلال رابطة السـيليكون والكربـون Si-C فـإن المركبات الناتجة تسمى : Alkoxy - Silanes .

بعض هذه المركبـــات تحتوى على روابط C-Si السيلان والاستر Si-O-C فى نفس الوقت مثل : Tri- Ethoxy - methyl silane



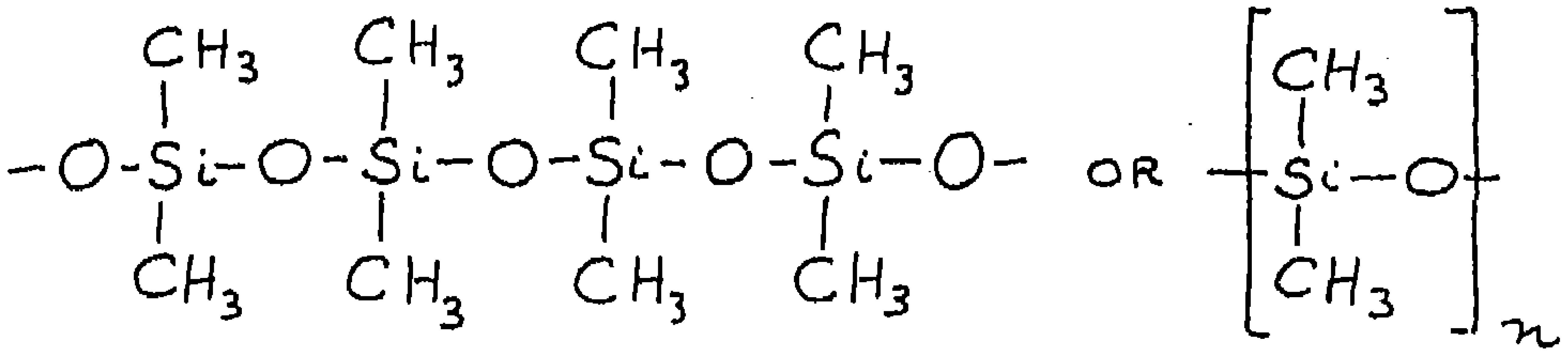
وعندما تنفصل رابطة الاستر Si-O-C بواسطة تفاعل الهدرته ، فـإن رابطة السيلان Si-C تقاوم الهدرته Hydrolysis .

لذلك فإن هدرته مركبات السيلان مثل :

Ethoxy - alkyl- Silanes تؤدى إلى مركبات تظـل محتويـة علـى الشـقوق العضـوية ، كما يظهر من المعادلة التالية:

$$C_2H_5O-\underset{CH_3}{\overset{CH_3}{Si}}-OC_2H_5 + 2H_2O \longrightarrow HO-\underset{CH_3}{\overset{CH_3}{Si}}-OH + 2C_2H_5OH$$

ولو تم نزع الماء من مثل هذه المركبات ،واتصلت جزيئاتها ببعضها (من ٢٠-٢٠٠ جزيىء) فإن الناتج يكون سلسلة طويلة من الجزيئات ، يكون أهم خصائصها إحتوائها على جزيىء عضوى وجزيىء غير عضوى .. وهذه تسمى : سيليكونات Silicones



$200 > n > 20$

وجزيىء السيليكون الموضح عاليا يحتوى علىمجموعات ميثيل فقط CH_3 ، لكن من الممكن استخدام السيليكونات التى تحتوى علىمجموعات الفينول C_6H_5 .

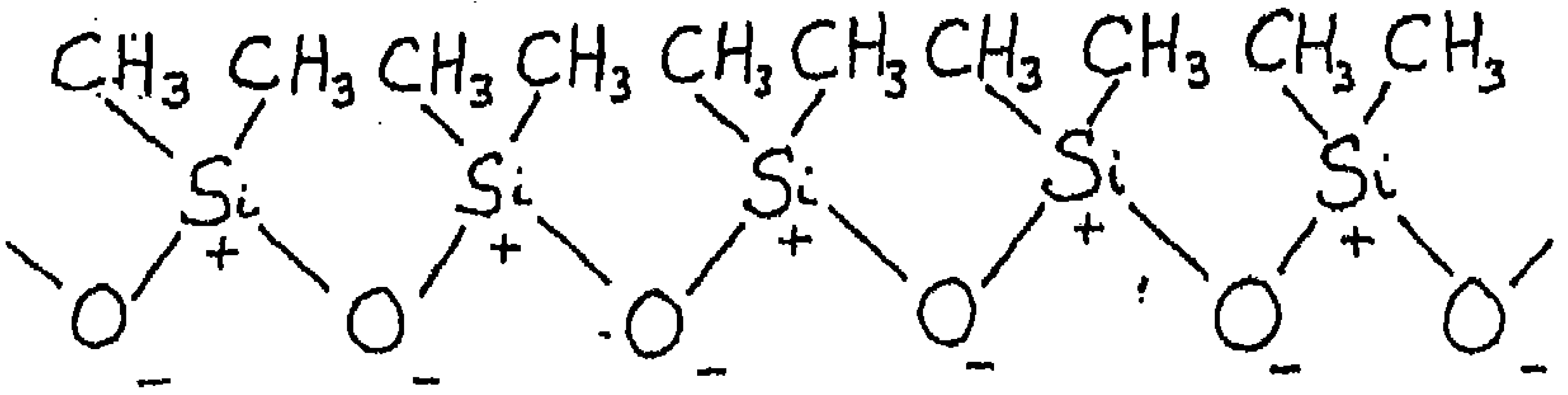
والجزيئات ذات التركيب الخطى Linear Structure مثل الجزيىء الموضح عاليا ، يكون قابل للذوبان فى المذيبات العضوية ..

أيضا السيليكونات غير القابلة للذوبان فى المذيبات العضوية ، هى أيضا سيليكونات مصنعة ، ذات ثلاث أبعاد ، وبناءها متقاطع الروابط Cross-linked.

١١-٣- السيليكونات الطاردة للماء

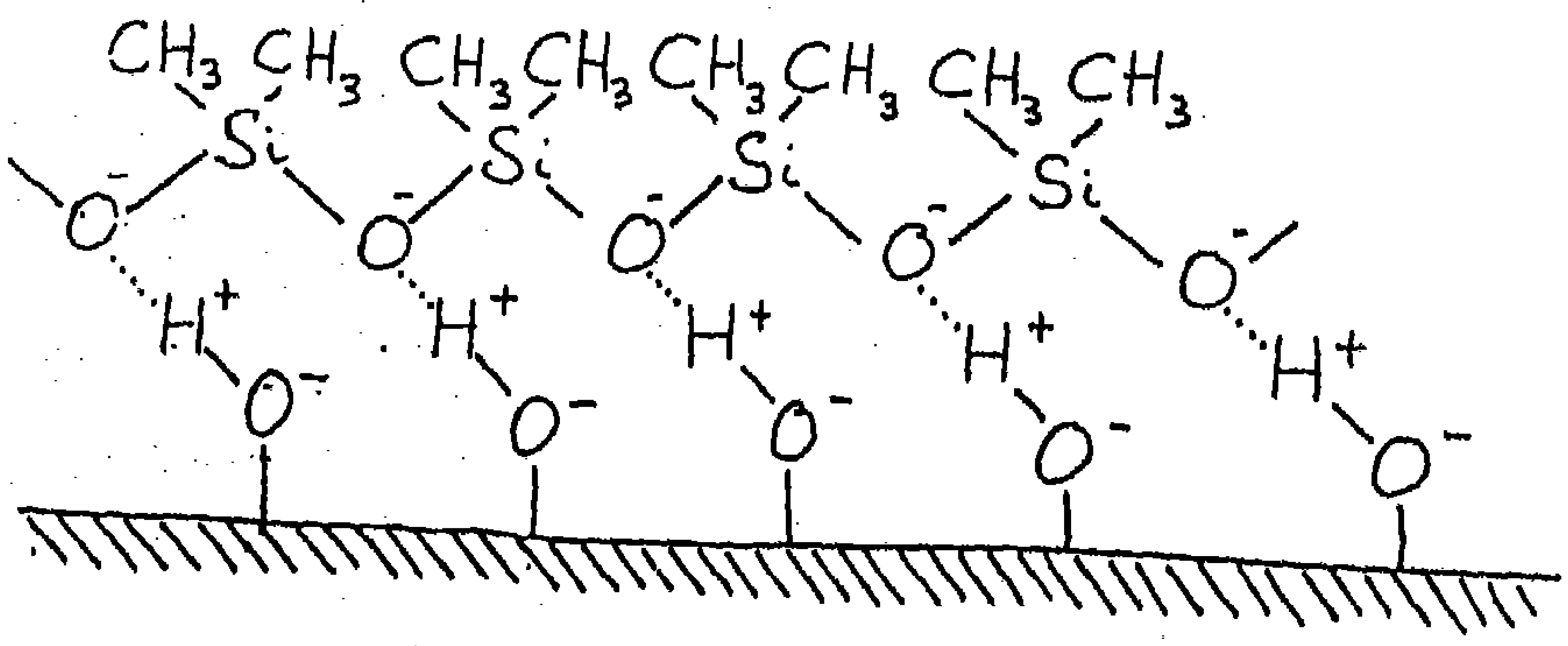
Water Repellency of Silicones

الجزء غير العضوى فى جزيىء السيليكون Si-O هو جزء قطبى الى حد ما ، فى حين أن الجزء العضوى فى نفس الجزيىء CH_3 or C_6H_5 هو جزء غير قطبى Non Polar.



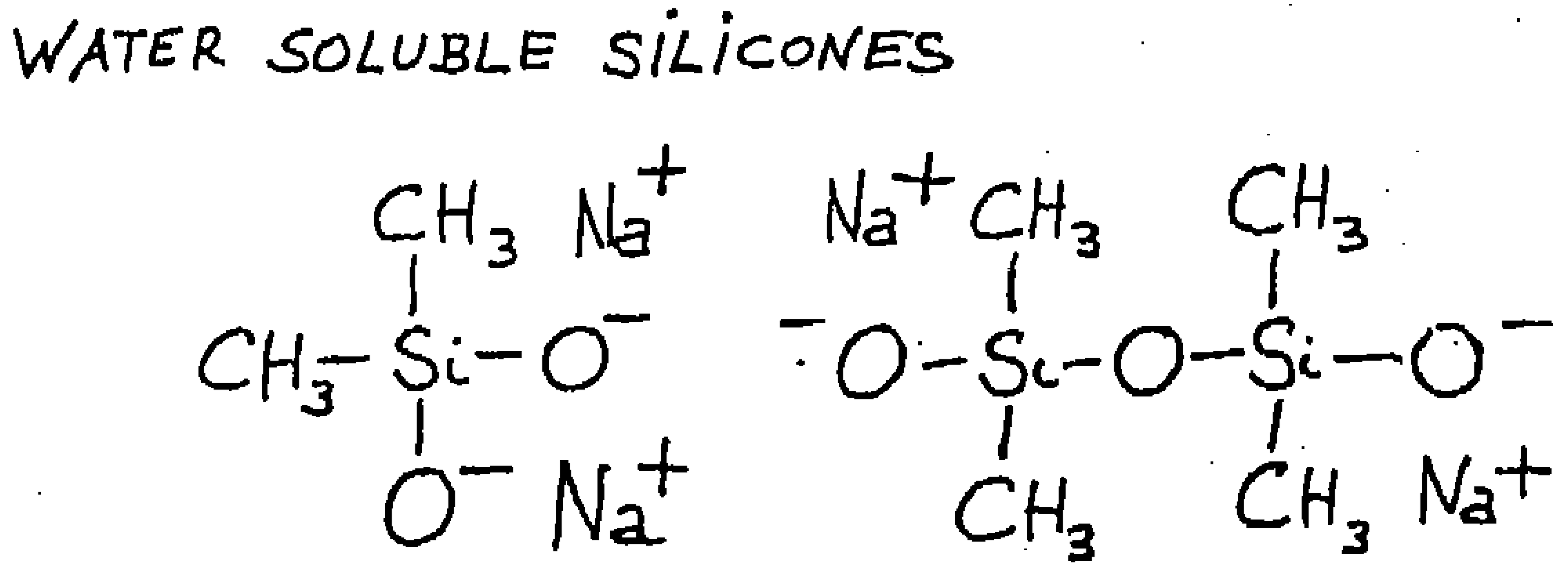
وعندما يتم معالجة احدى مواد البناء بمادة السيليكون ، وحيث أن أسطح هذه المادة تحمل مجموعة هيدروكسيل OH فإن الجزء غير العضوى القطبى فى جزيئات السيليكون ينجذب نحو هذه المادة ، وكنتيجة طبيعية فإن الجزء غير القطبى يتجه نحو الهواء ، وينتج عن ذلك طبقة واقعية مانعة للماء.

أى تتكون فوق سطح المادة المعالجة طبقة غير قطبية ، لاتؤدى إلى تكوين روابط هيدروجينية مع جزيئات الماء ، وتسمى هذه الأسطح: أسطح كارهة للماء Hydro phobic أو مانعة للماء.



هذا وتعتبر طبقة السيليكون الواقية ، طبعة منفذة لبخار الماء، وذلك لوجود فراغات كافية بين جزيئات السيليكون ، تسمح لجزيئات الماء المعزولة بالمرور خلال الحواجز السيليكونية التى تمنع المياه فى حالتها الطبيعية من المرور.

السيليكونات ذات الجزيئات الخطية تذوب فى المذيبات العضوية، وغير قابلة للذوبان فى الماء، وان كان بعض السيليكونات يذوب فى الماء ، إلا أن هذه السيليكونات تكون بعد استعمالها طبقة مانعة للماء، وذلك لأن السيليكون يحتوى على بعض مجموعات الهيدروكسيل OH التى تتحول إلى أملاح الصوديوم ، على سبيل المثال .



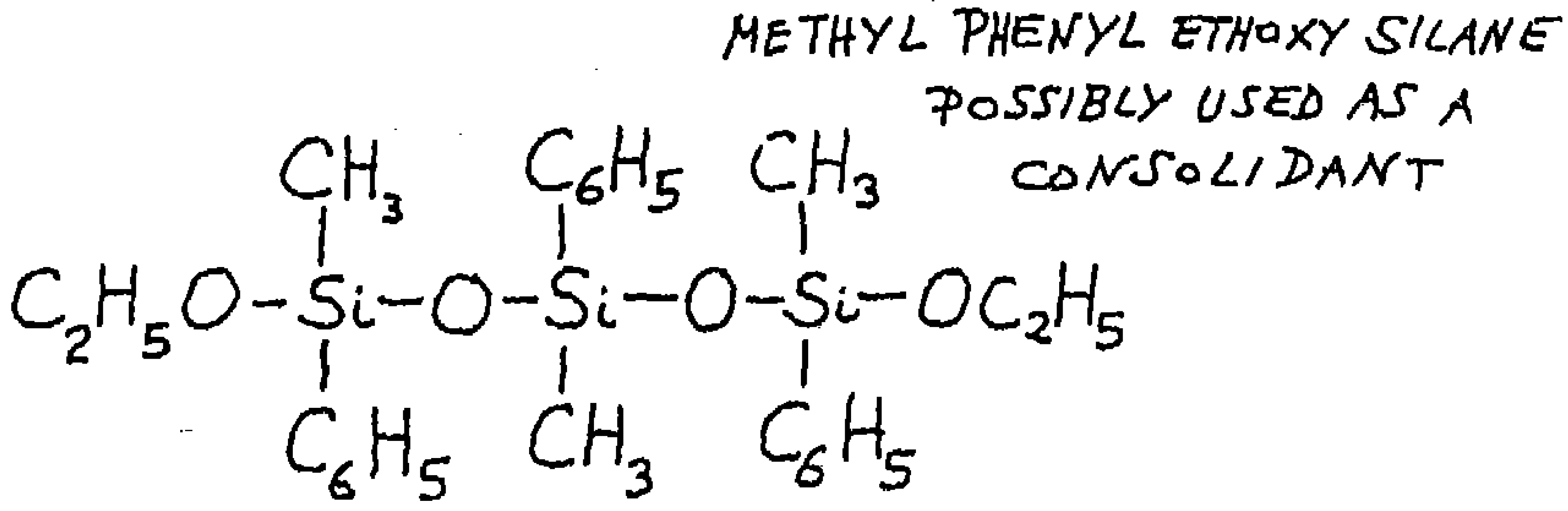
من أجل ذلك ، وكما فى موانع الماء ، فإن هذه السيليكونات التى تذوب فى الماء ، تظهر أقل كفاءة من السيليكونات التى تذوب فى المذيبات.

وعندما يتم استخدام السيليكونات كطبقة سطحية ، فإن تأثيرها يكون مؤقتا ، لأن الطبقة سيكون سمكها حوالى جزيىء واحد فقط ،وربما تستطيع تحمل التلف الميكانيكى ، أو تتحطم بعوامل التجوية الكيميائية تحت تأثير الأكسجين والضوء .

أيضا تستخدم السيليكونات التى تحتوى على كل من روابط السيلان والاستر كمقويات للحجر فى عمليات التشبيع العميق Deep impregnation لأنها تسبب منع الماء والتهوية فى نفس الوقت .

Water Repellency & Consolidation

مثال ذلك Methyl Phenyl Ethoxy Silane ..



ويلاحظ أن الرمز الموضح عاليه يبين البنية التقريبية لراتنج السيليكون المستخدم فى صيانة الرخام الذى تعرض لعمليات التجوية Weathered marble.

******

المراجـــــع

Deterioration and conservation in general:

Honeyborne, D.B. - Harris, P.B. The structure of porous building stone and its relation to weathering behaviour. In: Proceedings of the 10th symposium of the colston research sociey. Eds. Everett, D.H. Stone. F.S. Butterworths, London, 1958, 343-365.

Mc Intyre, W.A. Investigation in the durability of architectural terracotta and faience. Special Report n. 12. Building Research, Dept. Of Sci. Ind. Research. H.M. Stationery Office., London , 1929.

Schaffer, R.J. The Weathering of Natural Building Stone. H>M. Stationery Office, London, 1950.

Stambolov, T. -VANAsperen de BOER, J.R. J. Te Deterioration and Conservation of Porous Building Materiales in Monuments. 2nd ed., ICCROM, Rome, 1976.

Torraca, G. Brick. Adobe, stone and architectural ceramics: deterioration processes and conservation practices. In:

Presservation and conservation. Principles and practices. Ed. Timmons, S. Smithsonian Institution Press, Washington DC, 1976, 143-156.

Winkler, E.M. Stone Properties, Durability in Man's Environment. Springer Veriag, New York 1975.

Chapter 1- Water Movement:

Arnold, M. Salt Damp Research Committee. Second Report. South Australian Government Printer, Adelaide, 1978, 27-65.

CAMMERER, W.F. The capillary motion of moisture in building materials. CIB/RILEM Second International symposium on Moisture Probleme in Builidings. Rotterdam. 1974. Paper 2.1.2.

Haller, P. Entgegnug zum aufeats " Anwendung von Elektro-osmose gegen aufsteigende Mauerfeuchtigheit". Schweizerische Bauzeitung, 91, 35, 1973, 832-836.

Lacy, R.E. A note on the climate inside a mediaeval chapel. Studies in concervation, 15. N.2 1970. 65-80.

Massari, G. - Massari, I. Damp Buildings, old and New Manuscript available at ICCROM. Publication foreseen.

Vos. B.H. - Tammes, E. Suction of groundwater, Studies in conservation, 16, N.4 1971, 129-144.

Vols, B.H. Water Absorption and drying of materials. In: The Conservation of Stone. Ed. Rossi Manaresi, R. Centro Cesare Gnudi per la conservation delle sculture all Aperto, Bologna, 1975, 679-694.

Watson, A. Measurement of moisture content in some structures and materials by microwave absorption. Building Research Station Current Papers, Research Series N.63. H.M. Stationery Office, London, 1965.

Chapter 11- Stress, External and Internal.

Accardo, G.- Massa, S. - Rossi Doria, P. Tabasso, M. Measurements or porosity and mechanical resistance in order to evaluate the state of deterioration of some stones. UNESCO/RILEM Colloque International aur l' alteration et la protection des monuments en pierre. CEBTP, Paris , 1978, paper 2.1.

Arnold, L. - Price. C.A. The laboratory assessment of stone preservatives. In : The conservation of stone. Ed. Rossi Manaresi, R. Centro Cesare Gundi per la Conservatione delle Sculture all' Aperto, Bologna, 1975, 695-704.

Arnold, L. - Honeyborne, D.B. - Price, C.A. Conservation of natural stone, Chemietry and Industry, 17th April. 1976, 345-347.

Director of Building Research. Report of the Building Research Board for the Period Ended 31st December 1926. H.M. Stationery Ofice, London, 1927.

Everett, D.H. The thrmodynamics of frost damage to porous solids. Transactions Faraday Society 56, 1961. 1541-1551.

Fagerlund, G. The significance of critical degrees of saturation at freezing of porous and brittle mater ials. In: Durability of concrete, Publication SP 4, Part Sp 4-2, American Concrete Institute, Detroit, 1975.

Gordon, J.E. The New Science of Strong Materials. 2nd ed. Penguin Books, Harmondsworth, 1976l.

Honeyborne, D.B. Weathering processes affecting inorganic building materials. Internal Note 141/65. Building Research Station,, Garston, 1965.

Litvan, G.G. Testing the frost susceptibility of bricks. In: Masonry Past and Present, Astm Stp 589, 1975, 123-132.

Pauly, J.P. Maladie alveolaire, conditions de formation et d'evolution. In: The conservation of stone. Ed. Rossi Manaresi, R. Centro Cesare Gundi per la Conservazione delle Sculture all' Aperto. Bologna, 1975, 55-80.

Price, C.A. Stone decay and preservation. Chemietry in Britain 11 , 1975, 330-353.

Chapter III- Chemical Processes, Corrosion.

Altieri, A. - Funicello, R. - Lupia Palmieri, E.-Zuppi, G.M. Caratteri dell'alterazione delle pietre da construzione a venezia; azione dello zolfo atomsferice su rocce carbonatiche. Annli dell' Istituto Superiore di Sanita 13 (Parte 1011(, 1977, 3310342.

Badan, B. - Bacelle, G. - Marchesini, L. Surface reactivity of marble and stone: quarry and alterated samples. In: The conservation of stone. Ed. Rossi Manaresi, R. Centro Cesare Gundi per la Conservzione dell Sculture all'Aperto, Bologna, 1975, 89-101.

Marchesini, L. Comportamente dei marmi e delle pietre a Venezia. IN: La Conservatione delle sculture all, aperto. Centro Cesare Gnudi per la Conservatione delle Sculture all'Aperto, Bologna, 1971, 78-86.

Sramek, J. Determination of the source of surface deterioration of tombstones at the old Jewish Cemetery in Prague. Studies in Conservation, 25, 1980, 47-52.

Torraca, G. Atmospheric suphur and the deterioration of building stone. In: Sulphur Emissions and the Environment. The Society of Chemical Industry, London, 1979, 305-310.

Winkler, E.M. Weathering rates of stone in urban atmospheres. In: T he Conservation of Stone. Ed. Rossi Manaresi, R. Centro Ceasre Gnudi per la

Conservazione delle Sculture all'Aperto, Bologna, 1975, 26-36.

Chapter IV - Biodeterioration.

Eckhart, F.E.W. Microorganisms and weathering of a sandstone monument. In: Environmental Biogeochemistry and Gemicrobiology, Vol. 2. Ed. Krumbein, W.E. Ann Arbor Sci. Publ. Inc. Ann Arbor, 1978, 675-686.

Krumbein. W.E. - Lange. C. Decay of plaster, paintings and wall material of the interior of buildings via microbial activity . In: Environmental Biogeochemistry and Geomicrobiology, Vol. 2. Ed. Krumbein, W.E. Ann Arbor Sci. Publ. Inc., Ann Arbor, 1978, 687-697.

Rossi Manaresi, R., ed. Biodeterioration and related problems. In: The Conservation of Stone. Centro Cesare Gundi per la Conservazione delle Sculture all'ASCperto, Bologna, 1976, 191-293.

Various Authors, Unesco- Rilem. Alteration et traitements lies a la biologie (Seance 4). Alteration et protection

des monuments en pierre. CEPTP, Paris, 1978, Papers 4.1 to 4.4.8.

Chapter V- Vibration.

Bocquenet, D.- Girard, J. - Le Houedec, D. - PiCCARD, J. Les vibrations dues au traffic routier: action sur l'environnment et methodes d'isolation. Annales ITBTP, 355, 1977, 57.

Bramer, T.P.C., and others. Basic Vibration Control. Sound Research Laboratories Ltd., E. And F. Spon Ltd., London, 1977.

Massari, G. Danno ai monumenti da traffico stradale pesante. Ingegneri Architetti, XXI, V-VI, 1971, 1-9.

Paribeni, H. Influenza delle vibrazione mechaniche indotte dal traffice sulla stabilita delle costruzioni. 3° Corso di informazione Assirco, Unpublished manuscript, ICCROM Library, 1980.

Steffens, R.J. Structural vibration and damage. Building Research Establishment, Report 21-L5-1974.

Waller, R.A. Building on Springs. Pergamon Press, Oxford, 1969.

Whiffin, A.C. - Leonard, D.R. A survey of traffic induced vibrations. Road Research Laboratory, Report LR 418. Crowthorne, 1971.

Chapter Vi- Binders.

Davey, N. A History of Building Maberials. Phoenix House, London, 1961.

Ferragni, D., and others. Essais de laboratoire sur des coulis a base de ciment. In: Mortare, Cemente and Groute used in the Conservation of Historic Buildings. Symposium 3-6 November 1981, Rome ICCROM, Rome , 1982,

Foucault, M. Le platre. In: Calcium Sulphates and Derived Materials. Rilem, Paris, 1977, 271-284.

Furlan, V. Evolution et historique du mortier. Lecture notes, Ecole Polytechnique Federale de Lausanne. Laboratoire des Matriaux Pierreux, Lausanne, 1976.

Furlan, V. Caracteristiques generales des principaux liants utilises pour les travaux de crepissage. Lecture notes. Ecole Polytechnique Federale de Lausanne. Laboratoire des Materiaux Pierreux, Lausanne, 1967.

Furlan, V.- Bisseger, P. Les mortiers ancienes, histoire et essais d'analyse scientifique. Zeitschrift fur schweizerische Archologie und Kunstgeschichte, 32, 2, 1975, 166-178.

LEA, E.M. The Chemistry of Cement and Concrete, 3rd ed. Edward Arnold. London, 1978.

Milner, J.D. Masonry and masonry products: the use and preservation of mortar, plaster/stucco and concrete. In: Preservation and Conservation : Principles and Practices. Ed. Timmons, S. The Smithsonian Institution Press, Washington , D.C., 1976, 1770189.

Murat, M. Structure, Cristallochimie et reactivite des sulfates de calcium. In : Calcium Sulphates and Derived Materials. Rilem. Paris, 1977, 59-172.

Peroni, S., and Others, Lime based mortars for the repair of ancient masonry and possible substitutes. In: Mortars, Cements and Croute used in the conservation of Historie Buildinge, Symposium 3-6 November 1981, Rome, ICCROM, Rome 1982.

Znachko- Iavorskii, I.L. Methods for the sutyd and contemporary aspects of the history of cementing materials.Technology and culture 18, N.1, 1977, 25-42.

Chapter VII - Conservation of Stone.

Ashurst, J. - Dimes, F.G. Stone in Building. The Architectural Press, London, 1977.

Hosek, J. - Skupin, L. Consolidation and hydrophobization of cretaceous marly limestone used in monuments. Report. Building Research Institute of the Technical University, Prague, 1978.

Price. C.A. Brethane stone preservative. Building Research Estabilihment Current paper. CP 1/81. BRE. Garston. 1981.

Rossi Manarsi, R., ed. The conservation of stone. Centro Cesare Gundi per la conservazione delle Sculture all' Aperto, Bologna, 1976.

Rossi Manaresi, R. - Torraca, G., ed. The Treatment of Stone. Centro Cesare Gnudi per is Conservatione delle Sculture all' Aperto, Bologna, 1972.

Thomson, G., ed. Conservation of Stone. IIC, London, 1971.

Various Authors, UNESCO/Rilem: Essais sur les produits et procedes de traitment (Seance 6) . Restauration des monuments en pierre. CEBTP, Paris, 1978, papers 6.1 to 6.15 and 7.3 to 7.20.

Chapter VIII- Clay, Adobe, Bricks.

Chiari, G. - Gullini, G. - Torraca, G. Report on mudbrick preservation, Mesopotamia, VII. Universitadi Torino, Turin 1972, 259-287.

Clifton, J.R. Preservation of historic adobe stuctures. A status report. Technical Note 934. National Bureau of Standards, Washington, D.C., 1977.

Clifton, J.R. - Davis, F.L. Mechanical properties of adobe, Technical note 996. National Bureau of Standards, Washington, D.C., 1979.

ICCROM. Adobe (mud-brick) bibliography. Unphublished , available at ICCROM Library, 1980.

ICOMOS. First International Conference on the Conservation of Mud-brick Monuments. Yazd (Iran), 25-30 September, 1972. Ministry of Culture of Iran, Tehran, 1976.

ICOM-ICOMOS Committees of Turkey. IIIrd International Symposium on Mud- Brick (Adobe) Preservation. ODTU University, Ankara, 1980.

Chapter IX- Conservation and Deterioration of Masonry.

Bowley, M.J. Desalination of stone: a case study. Euilding Research Estabilshment, Cu9rrent Papers N.46. H.M. Stationery Office, London, 1975.

Holmstrom, I. - Sandstrom, C. Maintenanoe of old Buildings. Preservation from the Technical and Antiquarian Standpoint. National Swedish Building Research, Stocknolm, 1975.

Jedrzejewska, H. Removal of soluble salts from stone. In: 1970 New York Conference. Volume I. Conservation of stone. 2nd ed. IIC. London 1970, 19-33.

Chaptr X - Synthetic Resins.

Brydson, J.A. Plastics Materisals. Iliffe Books, London, 1970.

Thomson, G. - Werner, A.E.- Feller, R.L. Synthetic materials used in the conservation of cultural property.

In; The Conservation of cultural Property. Unesco Press. Paris, 1975, 303-333.

Chapter XI- Silicates and Silicones.

Gerard, R. Edude de la protection des pierres calacires au moyen de resines silicones. In' The treatment of stone. Eds. Rossi Manaresi, R. - Torraca, G. Centro Cesare Gundi per la conservation delle Sculture all' Aperto, Bologna, 1972, 145-163.

Weber, H. Stone Renovation and Consolidation using Silicones and silicic esters. In: The Conservation of Stone. Ed. Rossi Manaresi, R. Centro Cesare Gnudi per la Conservazione delle Sculture all' Aperto, Bologna, 1976, 375-385.

******

هذا الكتاب

يقدم فيه المؤلف أفكارا مناسبة من مختلف العلوم ؛ يعرضها بصورة مبسطة وواضحة ؛ ليفسر من خلالها أسباب تلف المباني الأثرية ؛ وطرق صيانتها و ترميمها ؛ و الحفاظ عليها ؛ لتظل مرآه تعكس نمط الحياة في العصور التاريخية المختلفة .

و الكتاب بذلك يعد مرجعا هاما لكل دارس لعلوم الترميم ؛ وكل مهندس يسعى للتخصص في مجال ترميم المنشآت الأثرية ؛ وكل مرمم يعمل في حقل ترميم الآثار .

والله ولي التوفيق ...

الناشر

عبد الحي أحمد فؤاد

كتب تحت الطبع

* مبادئ الجيولوجيا للأثريين — د . أحمد إبراهيم عطية
* حماية وصيانة التراث الأثرى — د . أحمد إبراهيم عطية
* ترميم الفسيفساء الأثرية — د . أحمد إبراهيم عطية
* تكنولوجيا مواد الآثار — د . أحمد إبراهيم عطية
* كيمياء مواد صيانة الآثار — د . أحمد إبراهيم عطية

دار الفجر للنشر والتوزيع

4 شارع هاشم الأشقر – النزهة الجديدة – القاهرة

تليفون 2944119 فاكس : 2944094

I.S.B.N 977-358-011-3